

第 2 3 回極域気水圏シンポジウム プログラム・講演要旨

The Twenty-third Symposium
on
Polar Meteorology and Glaciology
Programme and Abstracts

2000年11月29日(水)～11月30日(木)
November 29～30, 2000

国立極地研究所

National Institute of Polar Research
Tokyo, Japan

第23回極域気水圏シンポジウム

プログラム

日 時： 2000年

11月29日（水）09：30～17：40

11月30日（木）09：30～16：50

会 場： 国立極地研究所 講堂（6階）

主 催： 国立極地研究所

第 2 3 回極域気水圏シンポジウム・日程表

1 1 月 2 9 日 (水)	1 1 月 3 0 日 (木)
<p>開会の挨拶 9:30~9:40 平澤威男 (極地研所長)</p> <p>I. 海氷 (4) 9:40~10:35 座長: 伊藤 一 (極地研)</p> <p>II. 大気-海面・地表面相互作用 (3) 10:35~11:15 座長: 浮田甚郎 (NASA)</p> <p>休憩 11:15~11:25</p> <p>III. 北極圏エアロゾル (4) 11:25~12:20 座長: 遠藤辰雄 (北大・低温研)</p> <p>昼食・休憩 12:20~13:30</p> <p>PI. ポスター発表 (31) 13:30~14:30 大気・気候・海洋・海氷</p> <p>休憩 14:30~14:45</p> <p>IV. 雲・降水 (5) 14:45~15:50 座長: 菊地勝弘 (秋田県立大)</p> <p>休憩 15:50~16:05</p> <p>V. 大気力学 (4) 16:05~17:00 座長: 木村龍治 (東大・海洋研)</p> <p>VI. 南極氷床 (3) 17:00~17:40 座長: 藤井理行 (極地研)</p> <p>懇親会: 研究棟 2 F 講義室 18:00~19:30</p>	<p>VII. 雪氷コア解析 (5) 9:30~10:35 座長: 西尾文彦 (千葉大)</p> <p>休憩 10:35~10:50</p> <p>VIII. ドームふじコア解析 (5) 10:50~11:55 座長: 藤田秀二 (北大院・工)</p> <p>昼食・休憩 11:55~13:00</p> <p>PII. ポスター発表 (21) 13:00~14:00 雪氷</p> <p>休憩 14:00~14:15</p> <p>IX. 積雪 (5) 14:15~15:20 座長: 上田 豊 (名大・水圏研)</p> <p>休憩 15:20~15:35</p> <p>X. 氷床環境 (5) 15:35~16:40 座長: 成瀬廉二 (北大・低温研)</p> <p>閉会の挨拶 16:40~16:50 東久美子 (極地研)</p>

* 各セッションの () 内の数字は講演数

* 口頭発表の講演時間は13分 (発表10分、質疑3分)

第23回極域気水圏シンポジウムプログラム

口頭発表の講演時間は13分（発表10分、質疑3分）

11月29日（水） 9:30～17:40

開会の挨拶 国立極地研究所所長 平澤威男 （9:30～9:40）

I. 海氷（9:40～10:35）

座長：伊藤 一（極地研）

I-1 An Equilibrium State and Stability of Uniform Slab Sea-ice

Jinro Ukita (NASA) and Douglas G. Martinson

(Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University)

I-2 ロス海で採取された海氷の諸特性と成長過程

河村俊行、二橋創平（北大・低温研）、M. Jeffries (Univ. Alaska, Fairbanks),
J.L. Tison (Univ. Libre de Bruxelles), H.R. Krause (Univ. Calgary)

I-3 夏季南極ロス海における海洋上層と海氷の関係

二橋創平（北大院・地球環境）、大島慶一郎、河村俊行（北大・低温研）、
Martin O. Jeffries (Univ. of Alaska, Fairbanks, U.S.A.)

I-4 北半球における海氷漂流速度と地衡風との関係

木村 詞明、若土正暁（北大・低温研）

II. 大気-海面・地表面相互作用（10:35～11:15）

座長：浮田甚郎（NASA）

II-1 冬季オホーツク海南西部におけるラジオゾンデ観測

岩本勉之、竹内謙介（北大・低温研）、本田明治（地球フロンティア）、
立花義裕、土門圭（東海大）

II-2 航空機観測による寒気吹き出し時のオホーツク海上での境界層の発達・維持機構の解明

猪上淳、藤吉康志、川島正行、若土正暁（北大・低温研）

II-3 アラスカ不連続永久凍土流域の水文特性

石川信敬（北大・低温研）、K. Yoshikawa, L.D. Hinzman
(アラスカ大・水文研)

休憩：11:15～11:25

III. 北極圏エアロゾル（11:25～12:20）

座長：遠藤辰雄（北大・低温研）

III-1 ASTAR 2000日本・ドイツ共同航空機観測報告

山内恭（極地研）、A. Herber (AWI)、ASTAR 2000グループ

III - 2 航空機を用いた北極圏エアロゾルの光学特性観測

藤谷雄二、山形定、太田幸雄、村尾直人（北大院・工）、山内恭、塩原匡貴、原圭一郎（極地研）、Andreas Herber（AWI）

III - 3 3波長ネフェロメータおよびOPCを用いた北極対流圏エアロゾルの光学特性

矢吹正教（千葉大）、塩原匡貴、山内恭、平沢尚彦（極地研）、藤谷雄二、山形定（北大院・工）、西田千春（名大・STE研）、竹内延夫、久世宏明（千葉大）

III - 4 春季北極対流圏中の大気エアロゾルの混合状態と鉛直分布

原圭一郎（極地研）、岩坂泰信（名大・STE研）、山形定（北大院・工）、塩原匡貴、山内恭（極地研）、Andreas Herber（AWI）、長谷正博、中田滉（名大・STE研）

昼食・休憩：12：20～13：30

PI. ポスター発表（大気・気候・海洋・海氷）（13：30～14：30）

PI - 1 北極対流圏エアロゾル放射総合観測（ASTAR 2000）- ニーオルスン地上観測の概要と速報 -

塩原匡貴、山内恭、和田誠、平沢尚彦、原圭一郎（極地研）、矢吹正教（千葉大）、藤谷雄二、山形定（北大院・工）、西田千春、柴田隆（名大・STE研）

PI - 2 ASTAR 2000期間中のスカイラジオメータ観測に基づくアークティック・ヘイズの光学特性

塩原匡貴（極地研）、矢吹正教（千葉大）、山内恭（極地研）

PI - 3 マイクロパルスライダーで観測された北極対流圏エアロゾルの挙動

矢吹正教（千葉大）、塩原匡貴、山内恭（極地研）、柴田隆（名大・STE研）、竹内延夫、久世宏明（千葉大）

PI - 4 航空機によるアークティックヘイズの微細構造観測

山形定、藤谷雄二、太田幸雄、村尾直人（北大院・工）山内恭、塩原匡貴、原圭一郎（極地研）、Andreas Herber（AWI）

PI - 5 Ny-Alesund における惑星境界層のエアロゾル粒子数の鉛直分布

平沢尚彦（極地研）、矢吹正教（千葉大）、西田千春、柴田隆（名大・STE研）、山形定（北大院・工）、塩原匡貴、山内恭、原圭一郎（極地研）、林政彦（福岡大）

PI - 6 春季北極域での地上オゾン消失現象とハロゲンサイクル

原圭一郎（極地研）、長田和雄、西田千春（名大・STE研）、森本真司、橋田元（極地研）、青木周司（東北大院・理）、藤谷雄二（北大院・工）、塩原匡貴（極地研）、矢吹正教（千葉大）、平沢尚彦（極地研）、松永捷司、岩坂泰信（名大・STE研）、山内恭（極地研）、柴田隆（名大・STE研）

PI - 7 北極・Ny Alesund における大気エアロゾル粒子の粒径分布（ $10 < D < 365 \text{ nm}$ ）

西田千春（名大・STE研）、原圭一郎（極地研）、長田和雄、木戸瑞佳、岩坂泰信、柴田隆（名大・STE研）、和田誠、塩原匡貴（極地研）

PI - 8 ドームふじ観測拠点と昭和基地におけるエアロゾル濃度・粒径分布の変動

林政彦、松本易典（福岡大・理）、長田和雄、岩坂泰信、長谷正博、中田滉（名大・STE研）、田阪茂樹（岐阜大）、飯田孝夫（名大・工）、平沢尚彦、山内恭（極地研）

- PI - 9 南極・昭和基地周辺における冬季海塩エアロゾル粒子に関連した海氷上積雪中海塩成分比の考察
長田和雄（名大・STE研）、原圭一郎（極地研）、木戸瑞佳（名大・STE研）、
改井洋樹（リモート・センシング技術センター）、山内恭（極地研）、
松永捷司、岩坂泰信（名大・STE研）
- PI - 10 JTクーラーを用いた成層圏大気クライオサンプラーの開発（3）
森本真司、山内恭（極地研）、本田秀之（宇宙研）、青木周司
（東北大・理）
- PI - 11 カナダ・ユーレカ基地上空のオゾンについて（III）1999/2000年の観測結果
廣田道夫（気象大）、宮川幸治（高層気象台）、永井智広、牧野行雄
（気象研）、内野修、赤木万哲（気象庁・観測部）、H.FAST
（カナダ大気環境局）
- PI - 12 北極極成層圏雲の数値シミュレーション
柴田隆、デアナ・ダネヴァ、田村耕一、加藤尊士、岩坂泰信
（名大・STE研）、白石浩一、松本易典、藤原玄夫（福岡大・理）
- PI - 13 1999/2000年冬季スバルバル上空におけるライダー観測
白石浩一、松本易典、林政彦、藤原玄夫（福岡大・理）、柴田隆、足立宏、
酒井哲、石井昌憲、田村耕一、加藤尊士、岩坂泰信（名大・STE研）
- PI - 14 1990年代に南極上空でオゾン層破壊が進行するために必要な成層圏気温及び太陽高度角
忠鉢繁（気象研）
- PI - 15 ニーオルスンでの降雪粒子の現地観測
佐藤昇（大阪府教育センター）、梶川正弘（秋田大）、小西啓之
（大阪教育大）、遊馬芳雄（北大院・理）、和田誠、塩原匡貴、山内恭
（極地研）
- PI - 16 Ny-Alesund で観測された北極域の「きれいな」大気中で形成された降雪
小西啓之（大阪教育大）、和田誠（極地研）
- PI - 17 ノルウェー・ベアーアイランドでのレーザー観測
遊馬芳雄（北大院・理）、梶川正弘（秋田大）、早坂忠裕（東北大院・理）、
Helge Tangen（ノルウェー気象局）
- PI - 18 冬期の南極内陸のOLR急増時の大気循環場とSMMR/Nimbus-7による雪氷温度の変化
平沢尚彦（極地研）、[○]Surdyk, S.（北大・低温研）、山内恭（極地研）
- PI - 19 南極内陸晴天域におけるNOAA14-AVHRRデータの見込み角及び、温度依存性の評価
門崎学（総研大）、山内恭、平沢尚彦（極地研）
- PI - 20 南極氷床上的における無人気象観測（1999年）
高橋修平、亀田貴雄、榎本浩之（北見工大）、古川晶雄、本山秀明、
渡邊興亜（極地研）、松岡健一（北大・低温研）
- PI - 21 南極昭和基地におけるUV-Bの特徴
青木輝夫、青木忠生、深堀正志（気象研）、高尾俊則
（気象庁・大気環境観測所）
- PI - 22 アラスカ北極域における地表面放射収支の季節変化
佐藤威（防災科研・新庄）、吉川謙二（アラスカ大）、佐藤篤司
（防災科研・新庄）
- PI - 23 Argentine Island における降水の同位体比の変動とENSOとの応答
一柳錦平（観測F）、沼口敦（観測F/北大）、加藤喜久雄（名大）
- PI - 24 シベリアにおける広域積雪の同位体比分布の特徴
栗田直幸（東工大・総理工）、杉本敦子（京大・生態研）、一柳錦平
（観測F）、沼口敦（北大院・地球環境）

- PI-25 バレンツ海における溶存炭酸物質の季節変化に関する研究
中岡慎一郎、青木周司、中澤高清（東北大院・理）、橋田元、森本真司（極地研）、渡井智則（地球・人間環境フォーラム）
- PI-26 3次元画像計測による海水厚測定に関する研究
谷口悠司、中山雅茂、長幸平、下田陽久、坂田俊文（東海大）
- PI-27 マイクロ波放射計による一年氷の成長段階を考慮した海水密接度推定の高精度化に関する研究
中山雅茂、長幸平、下田陽久（東海大）、西尾文彦（千葉大）
- PI-28 人工衛星搭載マイクロ波放射計SSM/Iによる海水厚さの推定
館山一孝、榎本浩之（北見工大）、豊田威信（北大・低温研）、宇都正太郎（船舶技研）
- PI-29 RCヘリコプターを用いたオホーツク海沿岸海水観測実験
長幸平、谷口悠司、中山雅茂、下田陽久、坂田俊文（東海大）、本多嘉明、梶原康司（千葉大）
- PI-30 オホーツク海南部の海水成長に及ぼす積雪の寄与について
豊田威信、河村俊行、中塚武、若土正暁（北大・低温研）
- PI-31 海水場の次元低下に伴う補変数
伊藤一（極地研）

休憩：14：30～14：45

IV. 雲・降水（14：45～15：50）

座長：菊地勝弘（秋田県立大）

- IV-1 ドームふじ観測拠点における夏季の雲量の日変化
平沢尚彦、山内恭（極地研）
- IV-2 ドームふじにおける雲・ダイヤモンドダストのライダー観測
林政彦、首藤正毅（福岡大・理）、平沢尚彦、山内恭（極地研）、柴田隆、足立宏、酒井哲、田村耕一、岩坂泰信（名大・STE研）
- IV-3 リモートセンシングデータを用いた南極域における雲変動の研究
久慈誠（奈良女大）、菊地信行（東北大院・理）
- IV-4 MODIS データを用いたGLI用雪氷物理量抽出アルゴリズムの検証
堀雅裕（NASDA/EORC）、青木輝夫（気象研）、K.Stamnes, B.Chen, W.Li（Stevens Institute of Technology）
- IV-5 北極域の厳冬期に観測された凍雨の特徴
梶川正弘（秋田大）、佐藤昇（大阪府教育センター）、小西啓之（大阪教育大）、遊馬芳雄、上田博（北大院・理）、菊地勝弘（秋田県立大）

休憩：15：50～16：05

V. 大気力学（16：05～17：00）

座長：木村龍治（東大・海洋研）

- V-1 南極大陸とその周辺で観測されたブロッキングの鉛直構造
西井和晃（東大・海洋研）、中村尚（東大・理／地球フ）、平沢尚彦（極地研）、木村龍治（東大・海洋研）

V - 2 冬期ブロッキングが南極の海水、積雪に与える影響

榎本浩之、館山一孝（北見工大）、S.スーディク（北大・低温研）、
本山秀明（極地研）、亀田貴雄（北見工大）、東信彦（長岡技大）、
藤田秀二（北大・工）

V - 3 南極昭和MSTレーダープロジェクト（PANSY）

佐藤薫、堤雅基、麻生武彦（極地研）、佐藤亨（京大・情報）、山内恭、
江尻全機（極地研）

V - 4 Thermal Dynamic Process in the Scandinavian Ozone Loss

Han Zou, Libo Zhou and Yongxiao Jian（Chinese Academy of Sciences）

VI. 南極氷床（17：00～17：40）

座長：藤井理行（極地研）

VI - 1 Chinese Antarctic Inland Traverses

Li Yuansheng（Polar Research Institute of China）、Qin Weijia
（Chinese Antarctic and Arctic Administration）Sun Bo, Kang Jiancheng,
Yan Ming and Wen Jiahong（Polar Research Institute of China）

VI - 2 High Concentration for Nitrate in Drifting Snow, in Dome A Plateau, Eastern Antarctic Ice Sheet

Li Yuansheng（Polar Research Institute of China）、Y.Fujii, O.Watanabe,
H.Motoyama（NIPR）、Tan Dejun, Yan Ming, Sun Bo, Wen Jiahong,
Kang Jiancheng, Wang Dali and Liu Leibao（Polar Research Institute of China）

VI - 3 Stratigraphy and firm Density at LGB65 in Princess Elizabeth Land, East Antarctic Ice Sheet

Wen Jiahong, Kang Jiancheng, Wang Dali, Sun Bo
（Polar Research Institute of China）、Li Zhongqin（Chinese Academy of Science）
and Li Jun（Antarctic CRC and Australian Antarctic Division）

懇親会（研究棟2階）：18：00～19：30

11月30日（木） 9：30～16：50

VII. 雪氷コア解析（9：30～10：35）

座長：西尾文彦（千葉大）

VII - 1 Cosmogenic ^{10}Be and ^{36}Cl in GISP2 and Siple Dome ice cores

Kunihiko Nishizumi（Univ.of California）and Robert C.Finkel
（CAMS, Lawrence Livermore National Laboratory）

VII - 2 静水圧下における極地深層コアの力学試験

宮本淳、下原喜美子、百武欣二、庄子仁（北見工大）

VII - 3 南極浅層コア（H72、ドーム南）の基本解析報告

南極浅層コア解析グループ

VII - 4 南極浅層コア（H72、ドーム南）の化学成分基本解析

五十嵐誠、本山秀明（極地研）、戸山陽子（北教大・釧路）、亀田貴雄
（北見工大）

VII-5 南極浅層H72コアとドーム南コアのDC-ECM測定

戸山陽子、直木和弘（北教大・釧路）、西尾文彦（千葉大）、亀田貴雄（北見工大）、本山秀明、五十嵐誠（極地研）

休憩：10：35～10：50

VIII. ドームふじコア解析（10：50～11：55）

座長：藤田秀二（北大院・工）

VIII-1 ドームFコアに記録された氷期-間氷期移行期における陸海域起源物質と気温の変動

藤井理行、渡邊興亜、神山孝吉、本山秀明、東久美子、古川晶雄、五十嵐誠、河野美香（極地研）、的場澄人（北大・低温研）

VIII-2 ドームふじコア火山灰層に含まれる火山ガラスの給源

河野美香、藤井理行（極地研）、的場澄人（北大・低温研）

VIII-3 南極ドームふじ深層コア中のテフラ粒子特性化へのHeマイクロ波誘導結合プラズマ発光分光分析の試み

田村早苗、菊地正（山口東京理大）、高原寿雄、三島美奈子（横河電機）、藤井理行（極地研）

VIII-4 南極ドームふじコアから得られた過去34万年間の大気中CH₄濃度の変動

中澤高清、川村賢二、青木周司（東北大院・理）、渡邊興亜（極地研）

VIII-5 ドームふじのフィルン空気データによる過去の大気中メタン濃度の再現

菅原敏（宮城教育大）、川村賢二、青木周司、中澤高清（東北大院・理）、橋田元（極地研）

昼食・休憩 11：55～13：00

PII. ポスター発表（雪氷）（13：00～14：00）

PII-1 ロシア・アルタイ山脈ソフィスキー氷河掘削予備調査報告

藤井理行（極地研）、西尾文彦（千葉大）、亀田貴雄（北見工大）、L.M.Savatyugin（AARI）、S.Arhipov（IG）、P.I.Alexandrovich（ASU）

PII-2 カナダMt.Logan における氷河の予備調査

東久美子（極地研）、Roy M. Koerner（カナダ地質調査所）、Gerald Holdsworth（カルガリー大学）、渡邊興亜（極地研）

PII-3 南極H15コア中の固体微粒子-テフラ微粒子の可能性-

佐藤竜央（日大・文理）、福岡孝昭（立正大・地球）、河野美香（極地研）、林伸幸（日大・文理）、藤井理行（極地研）、遠藤邦彦（日大・文理）

PII-4 南極H72浅層コアのレーザートモグラフィによる堆積構造の解析

高田守昌（総研大）、藤井理行（極地研）

PII-5 南極ドームふじ氷中の空気分子の拡散

深澤倫子、本堂武夫（北大・低温研）

PII-6 南極ドームふじにおける水素同位体比及びd-excess変動の特徴

植村立、吉田尚弘、栗田直幸（東工大）、末吉哲雄、阿部彩子（東大）、沼口敦（北大）、橋本重将、中尾正義（名大・水圏研）、本山秀明、渡邊興亜（極地研）

- PII - 7 北グリーンランド氷床深層掘削およびコア解析 (NGRIP)
 庄子仁 (北見工大)、成田英器 (北大・低温研)、東信彦 (長岡技大)、
 東久美子、藤井理行 (極地研)、高橋昭好 (地球工学)、高田守昌 (総研大)、
 河野美香 (極地研)、青木周司 (東北大院・理)、渡邊興亜 (極地研)
- PII - 8 クラウディーアイス内におけるマイクロバブルの数密度分布
 下原喜美子、宮本淳、百武欣二、庄子仁 (北見工大)
- PII - 9 北グリーンランド氷床コアの化学分析
 田上美枝 (横国大)、五十嵐誠、本山秀明 (極地研)、高田守昌 (総研大)、
 渡邊興亜 (極地研)、成田英器 (北大・低温研)、庄子仁 (北見工大)、
 J.P.Steffensen, H.B.Clausen (Univ.of Copenhagen)
- PII - 10 北西グリーンランドにおける積雪化学特性
 的場澄人 (北大・低温研)、山崎哲秀 (アバンナット)、宮原盛厚
 (有)アテック、本山秀明、渡邊興亜 (極地研)
- PII - 11 南極白瀬流域における氷床変動観測
 古川晶雄 (極地研)、鈴木利孝 (山形大・理)、松岡健一 (北大・低温研)、
 福崎順洋 (国土地理院)、本山秀明、渡邊興亜 (極地研)
- PII - 12 Glaciological observations on Heito and Langhovde Glaciers, Antarctica: preliminary results of the JARE-41 field campaign
 Frank Pattyn (Univ.of Brussel) and Kouichi Nishimura (ILTS, Univ.of Hokkaido)
- PII - 13 航空機航空写真・VTR・衛星画像比較による南極宗谷海岸の消耗過程の推定
 齊藤隆志 (京大・防災研)、白岩孝行 (北大・低温研)、本山秀明 (極地研)、
 榎本浩之 (北見工大)、古川晶雄 (極地研)、横山宏太郎 (北陸農試)、
 渡邊興亜 (極地研)
- PII - 14 氷期・間氷期の南極氷床形状のgrounding line位置に対する応答
 齋藤冬樹、阿部彩子 (東大・気候システムセンター)
- PII - 15 1998年3月25日南極地震 (Mw=8.1) :氷床後退に伴う地殻隆起の可能性
 金尾 政紀 (極地研)、坪井誠司 (横浜市大・理)
- PII - 16 氷の凍結による同位体分別数値計算と東南極ハムナ氷河底面氷の凍結機構
 飯塚芳徳 (総研大)、渡邊興亜 (極地研)
- PII - 17 氷への物質の取り込みと氷界面上での物質の濃度分布の観察
 佐藤啓市、竹中規訓、坂東博、前田泰昭 (大阪府立大院・工)、古川義純
 (北大・低温研)
- PII - 18 北見における積雪観測 (1999-2000) と積雪層構造モデルの検証
 八久保晶弘 (北見工大)、青木輝夫 (気象研)、榎本浩之 (北見工大)
- PII - 19 硬い雪面上における吹雪質量フラックスの鉛直分布
 小杉健二、佐藤威、佐藤篤司 (防災科研・新庄)
- PII - 20 アラスカ内陸部の一流域における積雪分布
 小杉健二、鎌田慈、佐藤威、阿部修、佐藤篤司 (防災科研・新庄)、
 吉川謙二 (アラスカ大)
- PII - 21 アラスカで観測された雪温鉛直分布の変化と積雪の構造
 鎌田慈、小杉健二、佐藤威、阿部修、佐藤篤司 (防災科研・新庄)、
 吉川謙二 (アラスカ大)

休憩 14:00~14:15

IX. 積雪（14：15～15：20）

座長：上田 豊（名大・水圏研）

IX-1 S16-ドームふじ観測拠点ルートにおける積雪中化学トレーサーの地理分布測定

鈴木利孝（山形大）、飯塚芳徳（総研大）、古川晶雄（極地研）、
松岡健一（北大・低温研）、神山孝吉、渡邊興亜（極地研）

IX-2 北極アラートで採取された積雪中の水溶性有機物

成川正弘、松永壮、河村公隆（北大・低温研）、S.M.Li, J.W.Bottenheim
（MSC, Canada）

IX-3 極東シベリアの積雪特性

山田知充（北大・低温研）、藤井理行（極地研）、西尾文彦（千葉大）、
小林俊一、和泉薫（新潟大・積雪災害研）、戸山陽子（北教大・釧路）、
高橋晃（通総研）、中山雅茂（東海大）

IX-4 シベリア広域積雪のマイクロ波特性と地上検証について

西尾文彦（千葉大）、藤井理行（極地研）、小林俊一、和泉薫
（新潟大・積雪災害研）、高橋晃（通総研）、山田知充（北大・低温研）、
中山雅茂（東海大）、戸山陽子（北教大・釧路）

IX-5 北極圏の霜ざらめ雪形成に関する実験的研究

鎌田慈、佐藤篤司（防災科研・新庄）

休憩 15：20～15：35

X. 氷床環境（15：35～16：40）

座長：成瀬廉二（北大・低温研）

X-1 火星北極氷床と地球極域雪氷学

樋口敬二（名古屋市科学館）

X-2 東クイーンモードランドにおける氷河流動特性

高橋修平（北見工大）、西尾文彦（千葉大）、成瀬廉二、藤田秀二、前晋爾
（北大）、本山秀明、古川晶雄、渡邊興亜（極地研）

X-3 Is Shirase Glacier retreating?

Frank Pattyn（Univ.of Brussel）、Dominique Derauw（CSL） and Hugo Decleir
（Univ.of Brussel）

X-4 第40次南極観測隊における白瀬流域のアイスレーダ観測-序報-

松岡健一（北大・低温研）、古川晶雄（極地研）、鈴木利孝（山形大）、
前野英生（通総研）、藤田秀二（北大院・工）、渡邊興亜（極地研）

X-5 南極ドームふじ氷床の高周波誘電率は通常の氷 Ih よりも小さい-レーダ現場観測からの証拠-

藤田秀二（北大院・工）、前野英生、浦塚清峰（通総研）、古川晶雄
（極地研）、前晋爾（北大院・工）、藤井理行、渡邊興亜（極地研）

閉会の挨拶 国立極地研究所 東久美子（16：40～16：50）

第23回極域気水圏シンポジウム

講演要旨

An Equilibrium State and Stability of Uniform Slab Sea-ice

Jinro Ukita

UMBC/NASA-Goddard Flight Space Center

and

Douglas G. Martinson

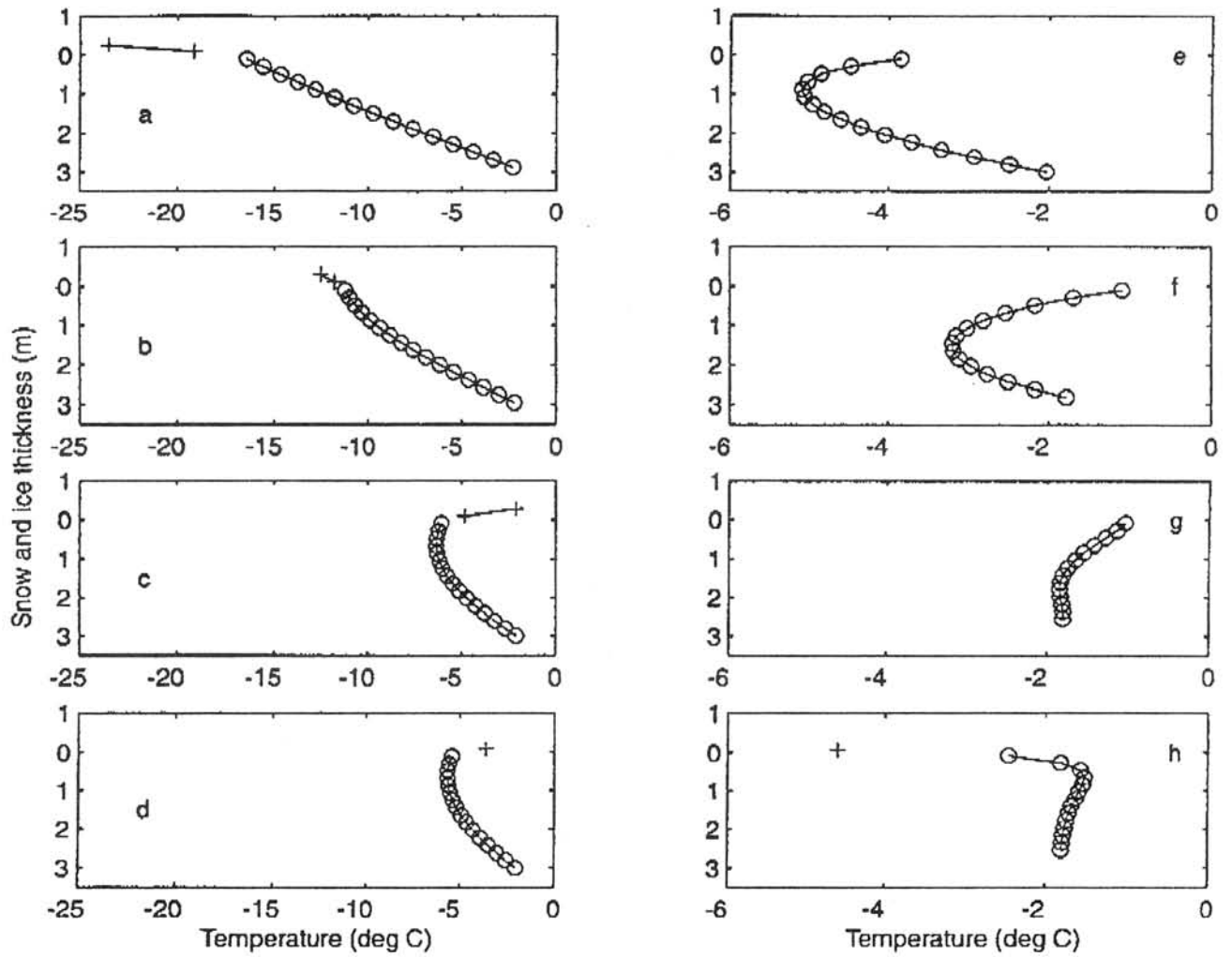
Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University

Abstract

Analysis on an annual cycle of uniform slab sea ice thickness provides insight on ice processes contributing to both stability and sensitivity of an ice cover. Results from numerical studies using our newly developed layer-adjustable enthalpy conservative thermodynamic model indicate that the annual cycle of ice thickness and its equilibrium state are sensitive to an exact timing and duration of the bottom ice ablation. Because of the direct relationship between the bottom ice ablation and the temperature gradient at the base the thermal inertia of ice column, as manifested in a nonlinear internal ice temperature profile, has a strong control on the state of the ice cover (i.e., Figure 1 shows the time series of internal temperature profiles for snow (plus) and ice (circle) at the annual equilibrium state on (a) Julian day 105, (b) 135, (c) 165, (d) 175, (e) 182, (f) 196, (g) 230, (h) 244, respectively, under the forcing condition similar to that of Maykut and Untersteiner, 1971).

This thermal inertia effect arises from both internal and external sources. Internally the dependence of thermal properties such as heat conductivity and heat capacity on temperature and salinity give rise to the thermal inertia. In contrast, high frequency forcing variability with respect to the thermal relaxation of the ice column also leads to a nonlinear temperature profile. In this presentation we discuss how they together influence the sensitivity of the ice cover, as well as its long-term stability in the context of climate change on the basis of numerical experiments with varying forcing conditions.

Fig. 1



ロス海で採取された海水の諸特性と成長過程

河村 俊行・二橋 創平(北大・低温研)・M. Jeffries(Univ. Alaska, Fairbanks)
J.-L. Tison (Univ. Libre de Bruxelles)・H.R. Krause (Univ. Calgary)

Physical properties and growth process of Ross Sea ice

T. Kawamura, S. Nishashi (Hokkaido Univ.), M. Jeffries (Univ. Alaska, Fairbanks),
J.-L. Tison (Univ. Libre de Bruxelles) and H.R. Krause (Univ. Calgary)

Sea ice studies were conducted in Ross Sea in summer (January-February) 1999. Four core and three block samples were observed on thick and thin sections. Their density, salinity and oxygen isotopic composition were measured. The samples contain transparent ice near the surface layer. The ice has the following characteristics: (1) large grains with smooth grain boundaries, (2) low salinity of about 0 psu and (3) very low isotopic composition as low as -15 ‰. The results suggest that the ice was formed from refreezing of snow-melt water, i.e. superimposed ice.

はじめに 海水の構造の研究は主に北極海の沿岸域で行われてきた。しかし、1970年代の後半からウェッデル海を中心にして南極海域でも精力的に行われるようになってきた。その結果、北極域の海水とは極めて異なる構造を持つことが明らかになった。すなわち granular ice が多く、積雪の寄与が大きいことである。これらの結果が南極の他海域の海水でも当てはまるかを検証するための観測が、ウェッデル海以外でも行われるようになってきた。

最近の南極での海水の研究から、海水成長におよぼす積雪の寄与が注目されている。それには積雪への海水の浸透による過程(雪氷を作る、例えば Lange et al., 1990)と積雪の融解が関与する過程(上積氷を作る、例えば Kawamura et al., 1997)がある。

1999年夏(1~2月)にロス海の流氷域で海水・積雪の観測が行われた。これは前年の1998年5~6月に行われた秋の観測と対を成し、その結果と比較検討するものである。

この研究では、この海域での海水の構造を解析し、その成長過程を解明することを目的とした。特に、superimposed ice による成長の普遍性の検証にも注目した。

観測地点と方法 1999年1月1日から2月2日にかけて、アラスカ大学の Jeffries が代表の "Dynamic/thermodynamic processes and their contribution to the sea ice thickness distribution and radar backscattering in the Ross Sea" の観測がロス海で行われた(図1)。

観測は原則的に毎日代表的な氷盤を選択し、その上で約150mの測線を設定した。1m間隔で、積雪深・氷厚・水位・積雪/海水界面の温度の測定、積雪の層構造の観測を行った。また、氷盤の代表的な点で直径10mmの海水コアを採取した。表層に透明な氷の層を含む4本コアサンプルは、海洋表面に浮かんでいた3個のブロックサンプル(大きさ約 10 X 10 X 5 cm から 20 X 20 X 20 cm)とともに凍結状態で北海道大学低温科学研究所に運ばれた。これらの採取地点を図1に示す。これらのサンプルは厚片および薄片を作成し、気泡・結晶粒径・内部構造の観察を行った。また密度・塩分・酸素同位体比の測定を行った。

結果と考察 図2(A)(B)に代表的な2本のコアサンプルの層構造写真((a)厚片と(b)薄片)・(c)塩分と酸素同位体比の鉛直プロファイルを示す。

図2(A)の酸素同位体比は表面に最小値を持ち、深さと共に徐々に増大し、正の値を取るプロファイルを持っていた。南極海域での典型的な形である(例えば、Jeffries et al., 1994)。一方、図2(B)の酸素同位体比の極小値は表面ではなく、少し深い約25cm 深に存在し、その直下の30cm 深から急激に正のほぼ一定の値を持っていた。これらの同位体比の最小値を持つ層は次の特徴を持っていた。(1)気泡が少なく透明(図(a)参照)、(2)平滑な粒界を持つ最大径約10mm の大きな結晶粒(図(b)参照)、(3)0 psu に近い低塩分(図(c)参照)。全てのブロックサンプルは上記の性質を持っていた。

以上の性質を持つ氷の層は Kawamura らが南極昭和基地近辺の Lützow-Holm 湾で発見したのと同じであり、積雪の融解水が再凍結してできた superimposed ice である(Kawamura et al., 1996)。ロス海でも superimposed ice による成長が認められた。

謝辞 サンプル採取および輸送では、Captain J. Borkowski を始めとする *R/V Nathaniel B. Palmer* の乗員および Antarctic Support Associates の方々にお世話になりました。感謝の意を表します。

文献 Lange et al., (1990). *J. Glaciol.* 36 (124), 315-323. Kawamura et al., (1997). *J.G.R.*, 102 (C2), 3345-3355. Jeffries et al. (1994). *J.G.R.*, 99 (C1), 985-995.

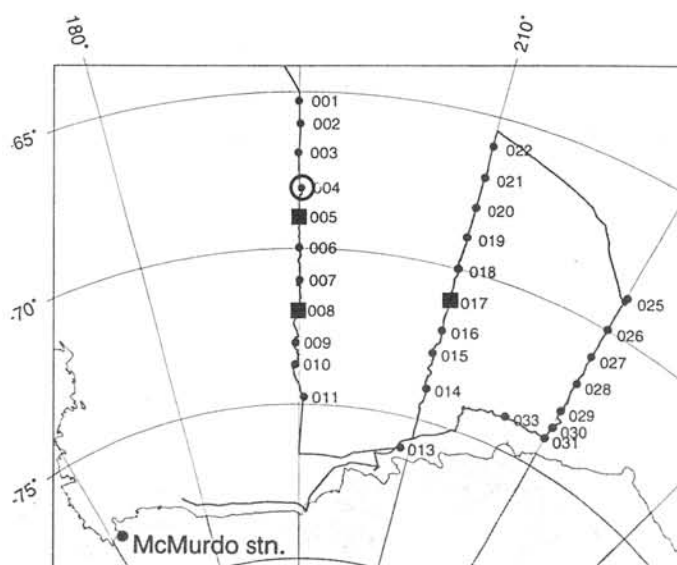


図1: ロス海での航跡図(数字は観測点番号であると共に、Julian Day を示す)と今研究のサンプル採取地点(■はコアサンプル、●はブロックサンプル)。

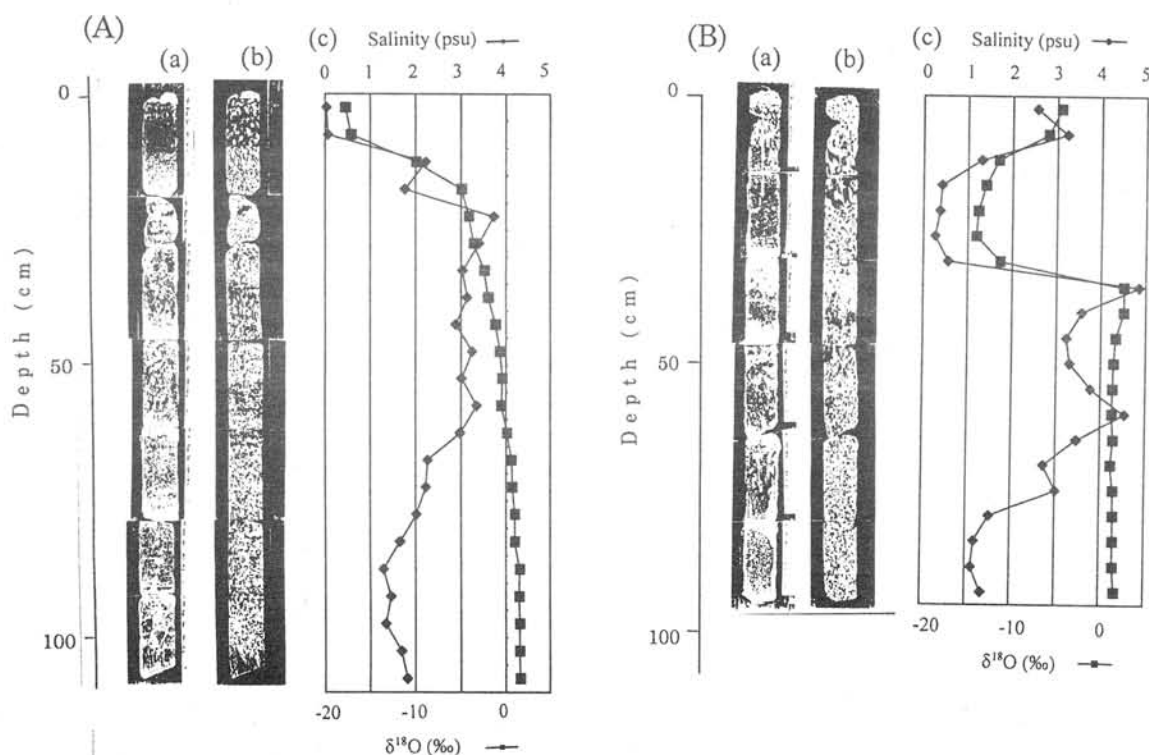


図2: 採取サンプルの層構造写真((a)厚片と(b)薄片)と(c)塩分・酸素同位体比の鉛直プロファイル。
(A)1999年1月5日(005), (B)1999年1月17日(017)

夏季南極ロス海における海洋上層と海氷の関係

二橋 創平¹, 大島 慶一郎², 河村 俊行², Martin O. Jeffries³

(¹ 北大院地球環境, ² 北大低温研, ³ University of Alaska Fairbanks, U.S.A.)

Relationship between the upper ocean and sea ice in the summer Ross Sea, Antarctica.

Sohey Nihashi¹, Kay I. Ohshima², Toshiyuki Kawamura², and Martin O. Jeffries³

(¹EES, Hokkaido Univ., ²ILTS, Hokkaido Univ., ³University of Alaska Fairbanks)

In the Antarctic Ocean, melting of sea ice is considered to be mainly caused by heat input into the upper ocean from the atmosphere. Ohshima et al. (1998, OH98 hereafter) found characteristic relationships among sea ice concentration, temperature and salinity of the upper ocean from in-situ data observed aboard the icebreaker *Shirase* off Syowa Station (East Antarctica). They showed that these relations can be explained by the above concept. In this study we examined the relationship between the upper ocean and sea ice using in-situ data observed aboard the U.S. research vessel *Nathaniel B. Palmer* at the Ross Sea, Antarctica. In the ice interior region, ice concentration is negatively correlated with temperature and positively correlated with salinity. At the ice margin, ice concentration is negatively correlated with both temperature and salinity. These relations are similar to those shown in OH98.

1. はじめに

海氷の融解過程の研究は、主に北極海の多年氷域で行われ、ある程度理解されている。多年氷域では、海氷は主に表面から融解し、基本的には大気と海氷表面の熱収支で決まる。一方、季節海氷域、特に南極海は発散場であるため、開水面の割合が大きいという特徴がある。開水面は、通常積雪の存在する海氷面に比べ、アルベドが非常に小さい。そのため、まず短波放射が開水面から海洋上層に吸収され、その熱により海氷が側面と底面から融解すると考えられる。従って、季節海氷域における海氷融解を考える場合、海氷と海洋を結合させて理解することが本質的となる。しかしながら、結合システムとしての理解は、数値モデルの中では行われているが、現場観測に基づいたものはほとんどない。

Ohshima et al. (1998, 以降 OH98) は、1990年12月の昭和基地沖の海域(図1)で、砕氷艦しらせにおいて観測されたビデオによる海氷密接度データと、in-takeによる海洋上層の水溫、塩分データとを組み合わせ、解析を行った。その結果、ある空間スケールで見ると、海氷密接度と海洋上層の水溫、塩分の間には特徴的な関

係があり、その関係は、海氷野内部であるか氷縁かによって異なることが示された。さらにこれらの関係を、開水面を通して海洋上層に与えられた熱により海氷が融解すると仮定した、簡単な海氷—海洋モデルから説明した。ただしこの解析は、海域が限られており、示された関係が南極海において一般的なものであるかはわからない。

1998年12月から翌年2月にかけて、米国砕氷船 *R/V Nathaniel B. Palmer* により、南極ロス海(図1)で海氷観測が行われた。本研究では、この際観測された、ビデオによる海氷密接度データと、in-takeによる海洋上層の水溫、塩分データを用いて、OH98で示された関係が、他の南極海でも見られるかを調べた。

2. 結果

通常ロス海は季節海氷域であるが、観測が行われた年は、夏季に海氷が融けきらない海域が衛星データから見られた。解析は、この多年氷域を避けて3箇所(図1; 1a, 1b, 2a)で行った。1a, 2aは、海氷野の内部領域に相当する。ロス海の特徴の一つに、ロス海ポリニアがある。1bは、このポリニア側の氷縁に相当する。

1aの海域における結果を示す(図2)。海水密接度は水温と負の相関、塩分と正の相関関係になり、OH98の海水野内部における関係に良く一致した。これらの関係は、以下のように説明される。密接度が小さくなるに従い、開水面での短波放射の吸収量が増大し、海洋上層の水温が上昇する。このことにより海水の融解が促進され、海洋上層の塩分が減少する。これは熱と塩の local balance が、bulk area でおおむね成り立っていることを示唆している。従って、以上の関係が成り立つことは、ロス海の海水野内部でも昭和基地沖と同様に、海水と海水の隙間の開水面から海洋上層へ与えられた熱により、海水融解が生じていることを示唆しているともいえる。

1bの海域では、海水密接度と水温ならびに塩分は、負の相関関係になった。この関係もまた、OH98のポリニア氷縁における関係に良く一致した。この関係は、以下のように解釈できる。すでに日射により暖められている開水面

へ、より多くの海水が移流されるほど、より多くの海水が融解し、塩分が下がる。その結果、密接度が高いほど、より多くの融解潜熱が放出され、水温が下がる。従って、ロス海のポリニア域の氷縁でも、日射により昇温した氷縁の外側の開水面に海水が移流され、効率的に海水融解が生じていることが示唆された。

以上の結果は、ロス海でも昭和基地沖の海域と同様、開水面から海洋上層へ与えられた日射により、主に海水が融解しており、OH98で示された海洋上層と海水密接度との関係が、南極海では一般的な関係であることを示唆している。

謝辞

R/V *Nathaniel B. Palmer* における現場観測では、Captain J. Borkowski を始めとする乗組員、ならびに Antarctic Support Associates の方々に大変お世話になりました。この場を借りて感謝の意を表します。

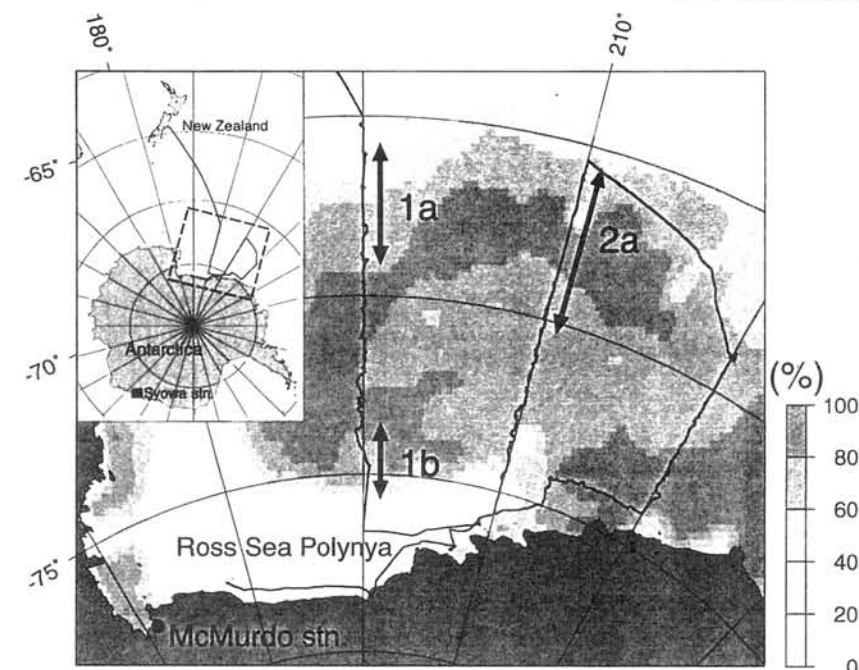


図1 解析海域ならびに R/V *N.B.P.* の航跡図。1999年1月1日の海水密接度分布も重ねて示す。

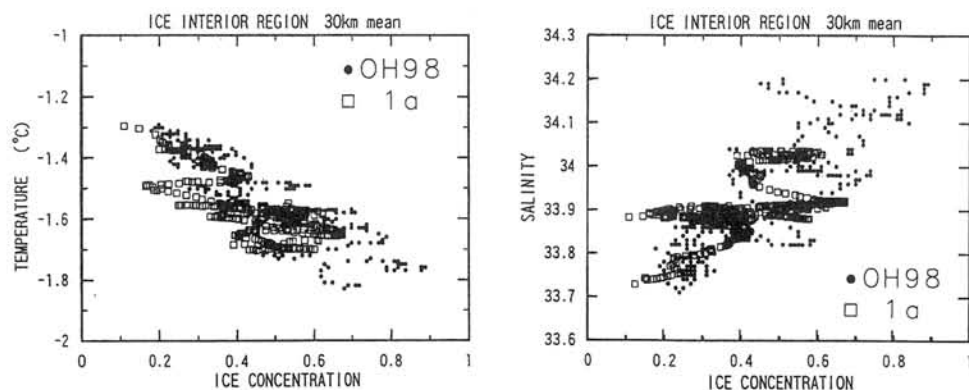


図2 1aの海域における海水密接度と海洋上層の水温、塩分との関係。OH98の結果(ice interior region)に重ねて示す。いずれのデータにも30kmの移動平均が掛けてある。

北半球における海水漂流速度と地衡風との関係

木村 詞明・若土 正暁 (北大・低温研)

Relationship between sea-ice motion and geostrophic wind in the Northern Hemisphere

Noriaki Kimura and Masaaki Wakatsuchi (Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)

We give maps showing the relationship between sea-ice motion derived from Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) imagery and the geostrophic wind in the Northern Hemisphere for seven winters (1050 days). The sea-ice motion is highly correlated with the geostrophic wind except for some coastal regions. Over the all area, direction of the ice motion is nearly parallel to the wind. An obvious contrast between seasonal ice zones and the interior of the Arctic is observed in speed reduction factor (ratio of ice speed to wind speed), it is probably caused by the spatial variation of internal ice stress. Surface ocean currents are also derived by subtracting the wind effect from the ice motion.

1. はじめに

全球的な気候システムを理解する上で、海水域の変動機構を解明することは極めて重要であり、そのために海水の漂流速度分布を知ることは最も基本的な課題である。現在まで、海水の動きに関する研究は主に漂流ブイ等のデータを用いて行われてきたが、それらは限られた海域についてのみであり、時間的にも非常に限定されている。一方で、近年になって衛星データを用いた海水の漂流速度の導出が可能であることが明らかになってきた。本研究では衛星データから算出した北半球全域の毎日の海水漂流速度を用いて、海水の動きと地衡風との関係と、その地域的な特徴を解明するための解析を行った。

2. データと手法

漂流速度の計算には DMSP SSM/I の 85.5-GHz 水平偏波チャンネルの輝度温度を用いた。このチャンネルは気象条件の影響をほとんど受けずに毎日の海水表面をモニターすることが可能であり、その水平分解能は約 16×14 km である。解析期間は 1991/92 年から 1997/98 年までの 7 冬 (12 月から 4 月) とした。計算は面相関法を用いて行った。これはある窓画像内の輝度分布と最も相関の高い場所を別の日の画像内から算出する方法で、 6×6 ピクセル (75×75 km) の大きさの窓画像を用いた。この窓画像の位置を 1 ピクセルずつずらして、それぞれに対し海水の移動量の計算を行った。こうして得られた結果に対し、相関係数、相関のピークの鋭さ、周囲の結果との差を用いて 3 段階のフィルタリングを施した。その結果、計算の成功率はほぼ全域で 80% を超えた。その後、最終的に 75×75 km 格子の 1050 日分の漂流速度データセットを作成した。

海水の動きを、地衡風の一定比率 (減衰係数) の大きさの、地衡風向から一定角度 (偏角) 方向への動きに海流を足したもので表されると考え、減衰係

数、偏角、海流は時間的に変動しないものと仮定して、毎日の地衡風から計算される海水漂流速度の予測値と実際の海水漂流速度との二乗差が最小となるように、減衰係数、偏角、海流を計算した。また両者間の関係の強さの指標として、偏角を補正した後のベクトル相関係数を用いた。

3. 結果

まず、海水漂流速度の 7 冬分の平均場 (図 1) を見てみると、北極海では平均 2 から 3 cm/s の動きであるのに対し、季節海水域では最大 20 cm/s に達する速い動きが見られた。北極海内部の動きに関しては、過去の漂流ブイの動きをまとめた Colony and Thorndike [1984] の結果と良く一致した。決定係数 (r^2) の分布 (図 2) を見てみると広い範囲で 0.5 を超えており、多くの海域で、海水漂流速度の時間変動は、その半分以上を地衡風との線形関係で表現できることが示された。特に、氷縁に近い季節海水域では 0.7 を超え最大 0.9 に達する非常に高い値となった。偏角の分布を見てみると、全体として海水は地衡風のやや右向きに漂流していることが分かった。その大きさは季節海水域で若干大きくなるものの、ほぼ全域で 10 度未満であり、海水は地衡風とほぼ平行方向に漂流していると言える。減衰係数 (図 3) に関しては、その大きさに強い地域差が見られた。北極海では 0.8% 以下であるのに対し、オホーツク海、ベーリング海、バレンツ海では 2.0% を越える値となった。この差は、海水密接度と氷厚の違いに伴う、海水内部応力の差によるものであると考えられる。最後に平均海流 (図 4) を見てみると、グリーンランド海とラブラドル海の西岸域に最大 15 cm/s に達する強い南下流が見られた、また北極海では全域で 2 cm/s 程度の流れであり、Beaufort 海から極付近を通してグリーンランド海に達する Transpolar Drift Stream が明瞭に見られた。

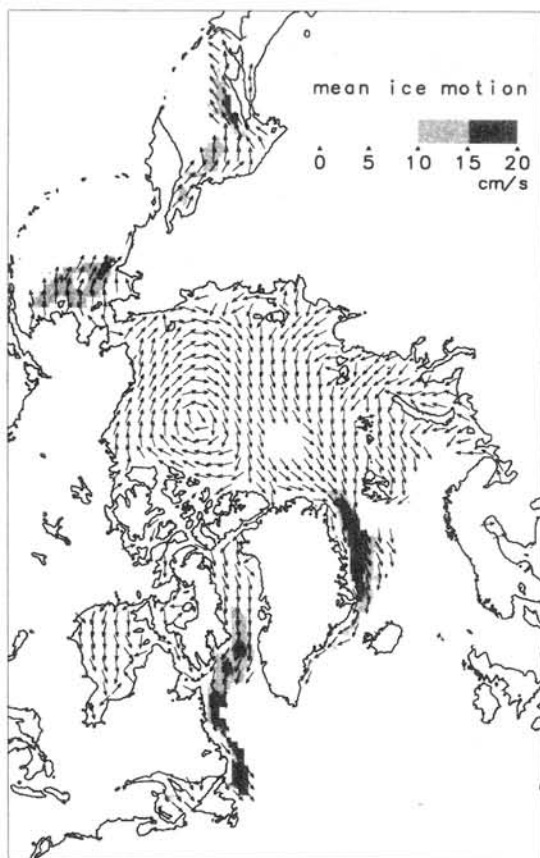


図 1： 7 冬分の平均海水漂流速度場

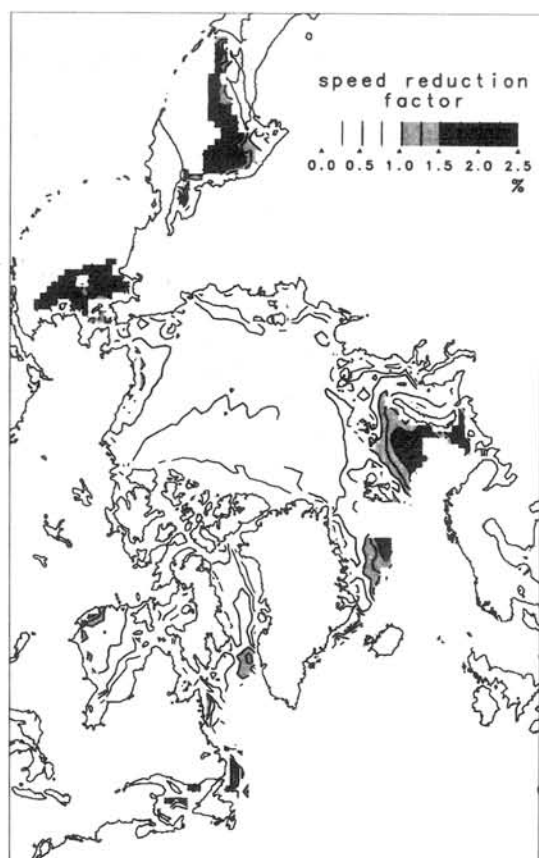


図 3： 地衡風に対する漂流速の減衰係数



図 2： 漂流速度と地衡風速度の決定係数 (r^2)

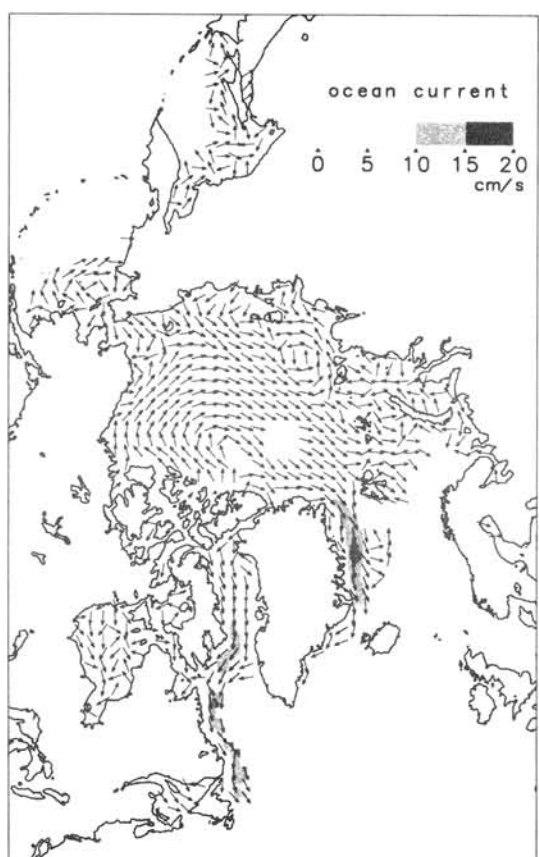


図 4： 表層海流

冬季オホーツク海南西部におけるラジオゾンデ観測

岩本勉之・竹内謙介 (北大低温研)、本田明治 (地球フロンティア)、立花義裕・土門圭 (東海大)

Rawinsonde observation in the southwestern part of the Sea of Okhotsk in winter

K. Iwamoto, K. Takeuchi (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University), M. Honda (Frontier Research System), Y. Tachibana, K. Domon (Tokai University)

The wintertime rawinsonde soundings were performed in the southwestern part of the Sea of Okhotsk from 1998 to 2000. Associated with cold-air outbreaks, the mixed layer was developed in the lower layer by the heat exchange between the sea surface and the atmosphere. The thickness of the mixed layer gradually decreased during our observational period, corresponding to the increasing of the sea ice. Decreasing tendency was also appeared in the turbulent heat fluxes that was derived using the difference of the moist static energy between two stations.

はじめに

冬季季節風吹き出し時の海氷上での気団変質過程を把握することは、高緯度域の気候システムを理解する上で重要である。そこで海氷域における大気場の熱力学的構造を調べるため、1998年から2000年にかけて冬季オホーツク海南西部においてラジオゾンデによる観測を行った。

観測の概要

観測期間を以下に示す。

- ・ 1998 年: 1 月 26 日～2 月 11 日
- ・ 1999 年: 1 月 19 日～2 月 21 日
- ・ 2000 年: 1 月 11 日～2 月 25 日

これらの期間はオホーツク海の海氷面積の拡大期にあたる。



図 1: 観測地点

観測はユジノサハリンスク、海上保安庁巡視船「そうや」および北海道斜里町 (図 1) において、1 日に 2 回ないし 4 回行った。冬季の北西季節風卓越時には、これらの地点はそれぞれオホーツク海の上流、中流、下流とみなすことができる。下流のデータを上流または中流と比較することにより、海氷が大気に与える熱的影響について考察した。

観測結果

季節風吹き出し時には下流側の地点で相当温位が一樣な混合層が発達した。混合層の深さは海水密接度の増大とともに減少し、海氷によって気団の変質が抑えられている様子が捉えられた。また、上流側と下流側の湿潤静的エネルギー差を地上から混合層上端まで積分することによって乱流フラックスを求めたところ、1998 年の事例について、観測初期には約 200 W/m^2 に達していたものが、海氷の拡大に伴って 30 W/m^2 程度まで減少していることがわかった (表 1)。

表 1: 上流側と下流側の観測データから求めた熱フラックス

case	26Jan 1800	01Feb 0000	06Feb 2100	10Feb 1800	11Feb 0300
海水密接度 (%)	45	49	62	65	71
混合層高度 (hPa)	780	840	850	965	955
放射 flux (W/m^2)	-30	-20	-20	-20	0
乱流 flux (W/m^2)	210	140	120	100	30

航空機観測による寒気吹き出し時のオホーツク海上での境界層の発達・維持機構の解明

*猪上 淳, 藤吉康志, 川島正行, 若土正暁 (北海道大学 低温科学研究所)

Development and maintenance mechanisms of the convective boundary layer over the Sea of Okhotsk during cold outbreak revealed by aircraft observations

*Inoue, J., Y. Fujiyoshi, M. Kawashima and M. Wakatsuchi

(Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.)

We conducted aircraft observations of the convective boundary layer during cold outbreaks to investigate air-sea-ice interactions over the Sea of Okhotsk. The depth of the boundary layer gradually developed even though the sea surface was covered with sea ice. Low-level convective clouds began to appear in the marginal ice zone and the depth of the boundary layer rapidly developed over the open sea area. From the streamline heat budget analysis, however, it is found that sublimation of ice/snow particles made the mixing ratio of water vapor increase and cooled the sub-cloud layer. This process can keep the difference in temperature between air and sea surface large, and would enhance the sensible heat flux from the sea surface while the sub-cloud layer is sub-saturated. Numerical simulations by using ARPS qualitatively supported this process.

1. はじめに

冬季寒気吹き出し時のオホーツク海上の気団変質は、海水の存在と結氷温度に近い海面水温という特殊条件下で進行する。さらに海面水温の水平温度傾度は日本海に比べ非常に小さい。それにもかかわらず、気団変質によって生じる筋状雲は 500~1000km のスケールでオホーツク海上を覆う。大気-海洋間の温度差が小さい条件下でなぜこのような雲システムが形成・維持されているのかを解明することは、寒冷海洋圏のエネルギー収支を理解する上で極めて重要である。北大低温研では、戦略的基礎研究『オホーツク海水の実態と気候システムにおける役割の解明』(研究代表者: 若土正暁)の一環として、ロシア航空機を用いたオホーツク海水縁域における気団変質の観測を 2000 年 2 月 9・14・18 日に行った。今回は 2 月 14 日の事例を用い、海氷上から氷縁域、さらに海上にかけての混合層の発達・維持に着目した境界層内の熱・水収支解析の結果を報告する。

2. 観測概要・データ

航空機はロシア CAO (Central Aerological Observatory) の ILYSHIN-18 を使用した。観測の出発地点はサハリンのユジノサハリンスクで、その飛行経路は GPS によりモニターされ、気温・露点温度・風向・風速などの気象データ、

乱流フラックス観測、PMS (Particle Measuring System) を使用した雲物理観測、放射計による上・下向き長・短波放射観測、可視・赤外線カメラによる海水の観測を行った。飛行ルート (図 1) は寒気吹き出しの風向と平行にとり、海面付近・雲底高度・雲内の 3 高度 (高度 100・300・800m) で観測した。

海水の表面状態が大気境界層にどのような影響を与えているかを調べるためには、海水の表面温度と密接度の情報が必要不可欠である。本研究では可視・赤外線カメラのビデオ画像から 10 秒毎の海水の表面温度と密接度のデータセットを作成した。また、可視画像からは雲と雪粒子の有無に関するデータも同時に取得した。

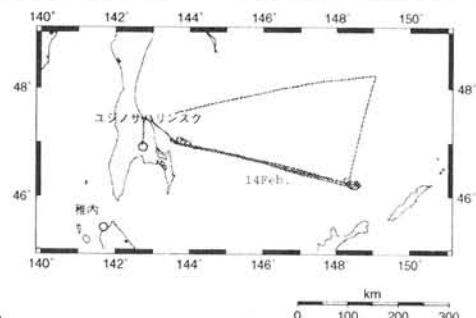


図 1: 2000 年 2 月 14 日の飛行観測ルート。

3. 解析手法・結果

解析は航空機が主風向と平行に観測していることを利用した流線収支解析法 (Grossman and Betts, 1990) を用い、それを各サンプリング高

度で挟まれた層内(上・下層)の潜熱・顕熱収支に適用した。また、海氷域から海上にかけての気団変質の再現実験にはメソスケール大気モデル ARPS (Advanced Regional Prediction System) を使用した。

潜熱収支解析から、氷縁域から風下にかけての雲底下層では降雪粒子の蒸発による水蒸気の供給が潜熱フラックスの鉛直発散を上回り、その結果風下方向に水蒸気が増加していたことが示された。また顕熱収支解析によれば(図2)、海氷上では顕熱と放射フラックスの収束によって加熱されていた。一方、風下の海上の雲底下層内では、海氷上の2倍の顕熱と放射フラックスの収束で加熱されているが、降雪粒子の昇華蒸発による冷却によってその半分は相殺されていた。また上層の雲内では顕熱フラックスの収束と凝結による潜熱の放出により加熱されていた。

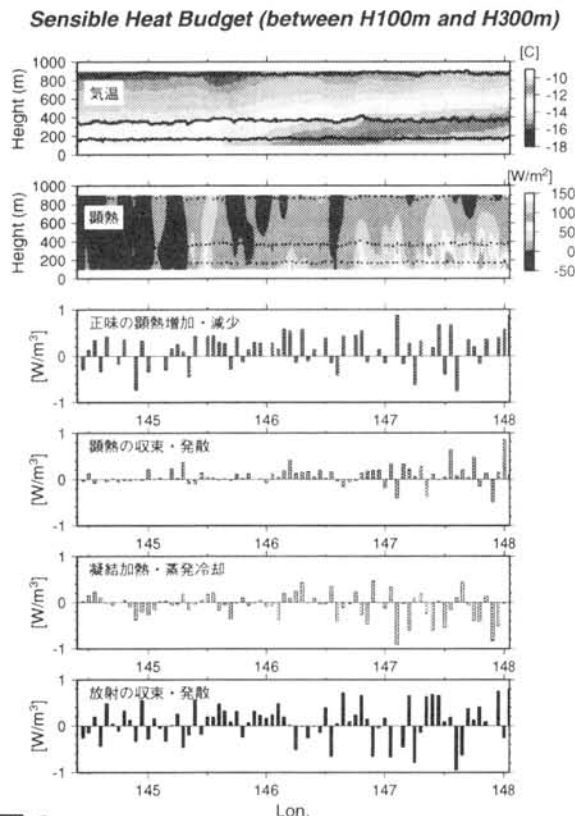


図2: 観測された気温・顕熱フラックスの鉛直断面図と高度 100m と 300m の間の顕熱収支解析の結果 ($\rho C_p \cdot d\theta/dt$, $\partial SH/\partial z$, LC , $\partial R_{net}/\partial z$)。

これらの解析結果は、以下に示す目視による雲・雪粒子の空間分布とも非常に良く一致する。図3上は各高度で観測された雲・雪粒子の空間分布である。風下の最下層(高度 100m)では

雲も雪粒子も存在しないのに対し、中層(高度 300m)では両方存在している。また最上層(高度 800m)ではその存在頻度がさらに高くなっている。氷に対する相対湿度(図3下)を見ると、上層では 110%で過飽和であるのに対し、最下層では 80%と乾燥していることから、雪粒子が上層から下層にかけて昇華蒸発することは可能である。

そこで数値モデルを用い、降雪粒子の昇華蒸発が下層の気温にどれほど影響が及ぶのかを調べた。計算は観測データを初期値とし、標準実験と雲物理過程のうち雲氷・雪の昇華蒸発の効果を除いた感度実験の2種類を行った。その結果、前者は後者よりも雲底下層の高度 300m 以下で最大で 1℃冷却されていた。これは降雪粒子の昇華蒸発による冷却が影響していると考えられる。

Eye Observation of Cloud & Snow

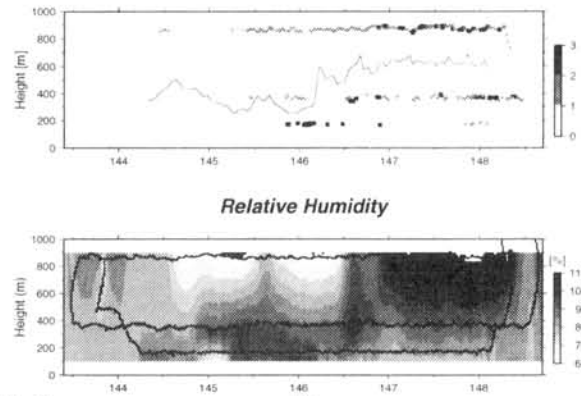


図3: 観測された雲・雪粒子の空間分布(四角印)と持ち上げ凝結高度(実線)(上)、氷飽和の相対湿度(下)。

4. まとめ

オホーツク海上の航空機観測のデータを用いた熱・水収支解析と数値モデルの結果から、氷縁域で発達する境界層内の熱収支に関して、特に雲底下での降雪粒子の昇華蒸発による冷却が、海面熱フラックスによる大気の加熱を妨げていることが明らかとなった。このことは、特に寒冷海洋圏では海面熱フラックスが小さいため、雲底下での降雪粒子の昇華蒸発による冷却も無視できない大きさになることを意味する。その結果、風下方向の大気-海洋間の温度差は維持され、気団変質は風下方向に持続する。以上のことから、海面水温が低い寒冷海洋圏の雲システムによる降雪過程は、境界層の発達・維持に極めて重要なプロセスの1つであると考えられる。

アラスカ不連続永久凍土流域の水文特性

石川信敬(北大低温研)、K. Yoshikawa、L.D. Hinzman (アラスカ大水文研)

Characteristics of water cycle in discontinuous permafrost region in Interior Alaska

N. Ishikawa (Hokkaido University), K. Yoshikawa and L.D. Hinzman (Water and Environmental Research Center, UAF)

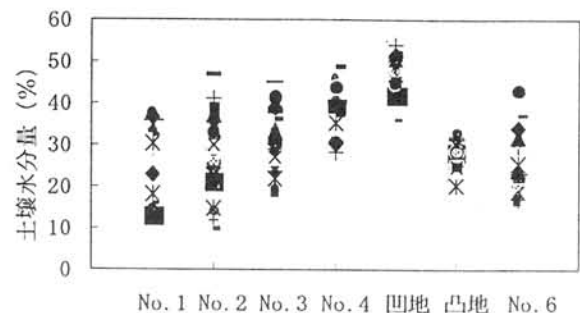
In order to have a better understanding of the water cycle in a discontinuous permafrost region, field observations such as soil moisture, ground water level and evaporation measurements have been carried out at Caribou-Poker Creeks Research Watershed in Alaska since 1997. Soil moisture depends on topographic factors, such as the increasing toward the bottom of a slope, and in a flood plain soil moisture is higher in a depression than near the boundaries. Soil moisture near surface and the ground water of a shallow well show daily variations clearly, as it is influenced by evapotranspiration from vegetated surface. Evaporation occurs over the whole watershed during summer, however directly over the stream condensation dominates because of low water temperature due to the permafrost underneath.

はじめに

永久凍土の表層は夏期には融解し活動層を形成する。しかし依然として存在する凍結土壌は降雨や融解水の浸透を妨げ、さらには蒸発散、植生、地下水貯留、河川流出プロセスを左右する重要なファクターであり、これが永久凍土地帯の水循環プロセスを複雑にしている。そこで凍結土壌を介した水の移動を把握するために、1997年よりアラスカ中央部の実験流域(65.19N、147.5W)において熱及び水収支の長期観測を始めた。気温、湿度、風速、日射、放射、地温、降水量、土壌水分、河川水温、流量、地下水位は年間観測、蒸発量の直接測定、流域内の植生分布、物理(電気)探査による凍結土壌分布、渦相関法によるフラックス観測、土壌水分移動観測は夏季の集中観測時に実施した。

観測結果

図1は1998-2000年の3夏に得た南斜面から谷底までの15cm深土壌水分を示したものである。横軸番号は斜面上部(No.1)、中部(No.2)、下部(No.3)、谷底平坦地(No.4)、凹地、凸地、北斜面(No.6)を示す。土壌水分は斜面上部より下部に向かって高くなり、また谷底平坦地でもわずか数10cmの起伏によって大きく異なり凹地は凸地よりも大きくなっていた。なお表層近くの土壌水分、さらには浅い井戸の地下水位や河川水位にも日変動が見られたが、これらは蒸発散により引き起こされるものと推察し、地表面からの蒸発散量を算定した(図2)。水面や完全植被面では表面温度の飽和蒸気圧として取り扱うことが出来る(可能蒸発散量の算定)。一方、不完全植被面(不和表面)からの実蒸発散量は通常、可能蒸発散量に経験的な定数(蒸発比)を乗じて



No. 1 No. 2 No. 3 No. 4 凹地 凸地 No. 6

図1.土壌水分量の地形依存性(3夏の結果)

求める。しかしモスは多孔質物質である。そこでモス表面直下に不透水性かつ通気性のある布で覆った温湿度計センサーを設置し、表面の水蒸気量を求めて実蒸発散量を算定した。植生表面では日蒸発散総量0.9-3.4

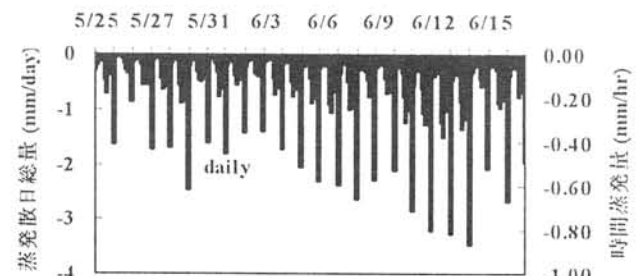


図2.植生表面からの蒸発散量

mm/day、蒸発比82-93%を得た。なお水面からの蒸発量は3-4mm/dayであったが、川面(流水)では夏季にもかかわらず凝結(最大2.2mm/day)が生じていた。

ASTAR 2000 日本・ドイツ共同航空機観測報告

山内恭 (極地研) ・ A. Herber (AWI) ・ ASTAR2000グループ*

Report on German-Japanese Cooperative Airborne Observation, ASTAR 2000

T.Yamanouchi (NIPR), A. Herber (AWI) and ASTAR 2000 group*

A German-Japanese cooperative project on aerosols in the Arctic, ASTAR 2000 (Arctic Study on Tropospheric Aerosol and Radiation) was carried out in March and April 2000 in the vicinity of Svalbard. Airborne observations of vertical distribution of physical, chemical and optical properties of aerosols were made using an aircraft, Dornier 228, of Alfred-Wegener Institute for Polar and Marine Research. Remote sensing of aerosols by lidar and photometers, in situ measurements and sampling of aerosols were also made coordinately at the surface of Ny-Alesund Scientific Station, Svalbard.

はじめに：北極域対流圏エアロゾルと放射に関する総合的観測 ASTAR2000 (Arctic Study on Tropospheric Aerosol and Radiation)を日本、ドイツ共同で実施した。その目的は、北極域の対流圏エアロゾル、特に北極ヘイズの挙動と、その放射効果・気候影響を調べることである。北極域は通常は大気は清浄で、気中エアロゾル量も光学的厚さ (500 nm) にして $\tau = 0.03 - 0.05$ と少ないところ、冬から春にかけて濃いエアロゾルの層が出現することがあり ($\tau > 0.1$)、「北極ヘイズ」として知られている。この放射影響は北極域の気候形成に重要な役割を果たしている可能性がある。

地上観測を継続しているスバルバル・ニーオルスンを中心に、2000年3月15日から4月25日の間、航空機と地上で同期キャンペーン観測を行った。アルフレッド・ウエーゲナー極地海洋研究所 (AWI) と国立極地研究所が中心となって企画実施し、現地観測には日本からは9名、ドイツから20名程が参加した。

航空機観測：AWIのドルニエ228機 (Polar 4) を用い、スバルバルのロングイヤービン空港を拠点として、飛行観測を実施した (表1、図1)。エアロゾル粒子数濃度 (パーティクルカウンタ：OPC) や散乱 (ネフェロメータ：IN) ・吸収係数 (吸収フォトメータ：PSAP) の計測、サンプリング (フィルターサンプラーおよびイ

ンパクター；以上日本側)、サンフォトメータによる消散係数・天空輝度測定 (ドイツ側) 等 (表2)を行った。3月15日から、最終の4月20日まで、ニーオルスン基地上空を中心に27回の飛行 (内、観測のそろった飛行19回)を行った。観測領域中では、地上 (水面) 付近から高度1 km毎に水平飛行を行い最高高度は約8 kmとした。

表1 ASTAR2000航空機観測履歴
Flight operation during ASTAR'2000

Date	Time (UT)	Location	NYA	Conditions	Almu	SP1A
March 15, 2000	12:17	79°N, 8°E	Near	Background	1	Yes
March 20, 2000	13:59	79°N, 11°E	Yes	*****	1	Yes
March 23, 2000	12:08	79°N, 11°E	Yes	Haze	2	Yes
March 24, 2000	11:00	78°N, 12°E	Yes	Higher	3	Yes
March 25, 2000	09:22	79°N, 11°E	Yes	Haze	4	Yes
March 26, 2000	11:37	79°N, 24°N	No	Background	8	No
March 28, 2000	10:52	79°N, 11°E	Yes	Background	8	Yes
March 30, 2000	14:03	76°N, 18°E	No	Background	4	No
April 1, 2000	10:28	79°N, 15°E	Near	Haze	-	Yes
April 2, 2000	14:35	77°N, 13°E	No	Higher	6	No
April 4, 2000	14:45	76°N, 20°E	No	Haze	5	No
April 7, 2000	15:45	79°N, 15°E	Near	Higher	5	Yes
April 12, 2000	16:05	79°N, 12°E	Yes	Higher	5	Yes
April 13, 2000	17:00	79°N, 11°E	Yes	Higher	5	Yes
April 14, 2000	17:03	78°N, 15°E	Near	Only 5	2	No
April 16, 2000	16:29	79°N, 11°E	Yes	Higher	5	No
April 17, 2000	18:11	74°N, 11°E	SAGE II	Background	2	No
April 19, 2000	18:38	74°N, 8°E	SAGE II	Higher	2	Yes
April 20, 2000	11:59	79°N, 12°E	Yes	Only 2	-	Yes

*ASTAR2000グループ：山内恭・塩原匡貴・平沢尚彦・佐藤薫・和田誠 (極地研) ・山形定・藤谷雄二 (北大工) ・原圭一郎 (名大/極地研) ・柴田隆・西田千春 (名大太陽研) ・矢吹正教 (千葉大) ・A. Herber (AWI) 他

地上観測：ニーオルスンでは、エアロゾルのリモートセンシング（ラマン・後方散乱ライダー、サン・スターフォトメータ、FTIR、マイクロパルスライダー、スカイラジオメータ等）や現場測定（OPC、ネフェロメータ等）、サンプリング等、通常の観測を強化し航空機観測に合わせ重点的な観測を行った。さらに、共同で、エアロゾルゾンデの飛揚や、新しい試みであるOPC気球係留によるエアロゾル鉛直分布測定を行った。また、地上放射収支観測はノルウエー極地研究所とAWIによって行なわれ、標高470 mのツェッペリン山観測所でもノルウエー大気研究所（NILU）やストックホルム大学（MISU）等によるエアロゾル観測が行なわれている。

その他、ロングイヤービンのSOUSYスバルバルレーダ（Max Planck Inst.）により、対流圏から成層圏の3次元の風の間が得られた。

結果：5週間にわたる集中観測キャンペーンにより、濃いヘイズ層を含む貴重なデータが取得された。航空機観測が実現した19日の内、ヘイズと言える日（ $\tau > 0.10$ ）が5日、バックグラウンドと言える日（ $\tau < 0.06$ ）が5日であった。ヘイズ層について、 $0.3 \mu\text{m}$ 以上の大きめの粒子数が増加する粒径分布の特徴、 $0.05 (1/\text{km})$ といった消散係数等が得られている。

地上観測からもライダーにより消散係数の鉛直分布が導かれ、航空機による値と良く対応しているが、時間的に変動が大きく対応が難しい場合もあった。スカイラジオメータから導かれたエアロゾルの光学的パラメータと地上で直接測定された化学成分を含めたエアロゾルの特性から求めたものとの対比が進められている。

SAGE-II衛星観測と航空機観測との比較では、図2のように、4月19日の消散係数の鉛直分布で極めて良い一致が見られた。

客観解析データによる大気循環場の解析、トラジェクトリーの導出が進められている。ヘイズの顕著な場合とそうでない場合とで、大気循環場の明瞭な違いが示された。層別の対応を調べていく予定である。

終りに：今後、観測結果の北極地域気候モデル（HIRHAM）への組み込みを行ない、エアロゾルのふるまいと放射強制力の評価その気候影響の解明を進める。そのためには、観測結果か

ら、消散断面積、吸収断面積、非等方性因子、エアロゾル質量、混合比等のデータセットを提供する必要がある。

本計画は、科研費特定領域北極A01および基盤研究A(2)北極エアロゾル（共に代表山内恭）に基づき遂行した。

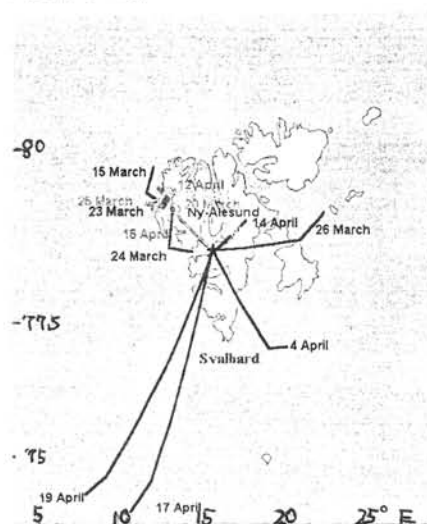
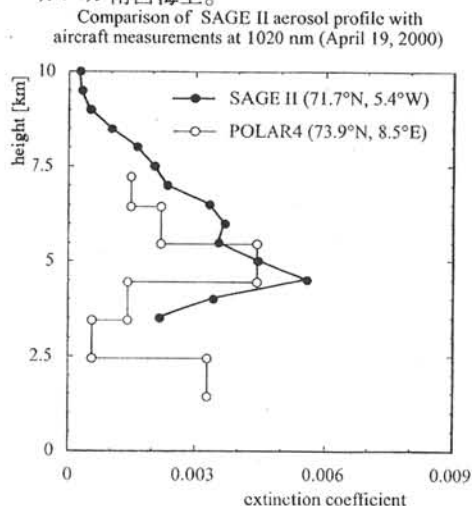


図1 ASTAR2000飛行範囲

表2 航空機観測搭載機器

Instrument	Parameter	Personel
Sun photometer	optical depth and phase function	Herber
Optical particle counter I	number concentration ($> 0.1 \mu\text{m}$)	Yamagata
Optical particle counter II	number concentration ($> 0.3 \mu\text{m}$)	Y
Integrating nephelometer	scattering coefficient	Y
Particle soot absorption photometer	absorption coefficient	Y
Aerosol sampler	filter sample for chemical analysis	Y
Aerosol impactor	sample on film for electron microscope	Hara
Radiometers	downward and upward radiative fluxes	
Met sensors	temperature, dew point and wind	

図2 SAGE-II衛星（黒丸、太線；NASA, LaRC）および航空機（白丸、細線）によるエアロゾル消散係数（ km^{-1} ）の鉛直高度分布、2000年4月19日、スバルバル南西海上。



$$\text{消散係数} = \text{散乱係数} + \text{吸収係数}$$

（右の二つは散乱）
（左の二つは吸収（すそ））

航空機を用いた北極圏エアロゾルの光学特性観測

○藤谷雄二、山形定、太田幸雄、村尾直人（北海道大学大学院工学研究科），山内恭、塩原匡貴、原圭一郎（極地研究所），Andreas Herber（アルフレッド・ウェゲナー極地海洋研究所）

Aircraft measurement of optical properties of aerosol over arctic region

Y. Fujitani, S. Yamagata, S. Ohta, N. Murao (Engineering school of Hokkaido University), T. Yamanouchi, T. Shiobara, K. Hara (National Institute of Polar Research), A. Haber (Alfred-Wegener Institute for Polar and Marine Research)

Absorption/ scattering coefficients and particle concentrations were measured over arctic region using aircraft during the ASTAR campaign. Filter sampling were also performed for quantitative analysis of ionic components and heavy metals. 21 flights were conducted between 15 March to 20 April 2000. Some heavy haze events had been observed during the period. The extinction coefficients in the haze events were ten times larger than those in background and as high as those observed in urban regions. Such high values were caused both by absorption due to soot particles, and by scattering due to increasing number of ammonium sulfate particles with diameter around $0.5 \mu\text{m}$, which scatter light efficiently.

1. はじめに

アークティックヘイズは、人為起源のエアロゾルが大きく関わっており、北極域の放射収支に大きな影響を及ぼしている。その影響評価を目的に、ASTAR2000 (Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation 2000)が行われた。その一環として、2000年3月15日から4月20日の間に計21回にわたり北極域上空の航空機観測を行った。ここでは、エアロゾルの光学的特性（散乱係数、吸収係数）および粒子数の鉛直分布について報告する。また同時に測定したイオン成分との関係にも言及する。

2. 測定方法

観測に使用した航空機はアルフレッド・ウェゲナー研究所所有の POLAR4 である。ノルウェースバルバル諸島にあるロングイヤービーンを拠点に図1の範囲で観測を行った。地表から7000mまで上昇し、鉛直プロファイルを得た。また飛行中にヘイズ層が確認された場合は15分間水平飛行した。外気は機内のデフューザーに導入し、そこから Integrating Nephelometer (Radiance Research; M903), Particle Soot/Absorption Photometer (Radiance Research), Particle counter (Met One 237H)に取り込んだ。測定値はすべて1秒もしくは6秒毎にコンピュータへ転送、記録した。ヘイズ層では組成分析のため、テフロンフィルター上にエアロゾルを捕集した。

3. 結果と考察

図2に最も汚染されている気塊を捕らえた A ; アークティックヘイズ ; (March23)と比較的清浄な気塊を捕らえた B ; バックグラウンド ; (April04)について、消散係数 σ (吸収係数+散乱係数) の高度分布を示す。グラフには1分平均値、場合によっては3~7分の平均値を使用した。地上から高度3000mの範囲において両日を比較すると10倍の差も見られ、Aの値は都市域でも観測される値であった。

次に消散係数の差は何に起因しているか、吸収係数と散乱係数を分けて考察した。図3に吸収係数の鉛直分布を示す。やはり3000m以下ではAとBで大きな差が見られた。吸収係数は大気中に存在する

吸収性物質の質量に比例する。極域において吸収性の物質はほぼすす粒子と考えられ、A ではアークティックヘイズの特徴の一つである、すす粒子が存在していたと考えられる。図 4 に散乱係数の鉛直分布を示す。散乱係数も 3000m 以下において両者で大きな違いが見られた。散乱係数は化学組成とエアロゾルの粒径に依存する。図 5 に両日のイオン組成の鉛直分布を示す。ヘイズ内外に関わらず NH_4^+ と SO_4^{2-} が主な成分であり、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 粒子が存在していたと考えられる。よって散乱係数の違いは、主にイオン組成の違いからは説明できない。図 6 に各粒径毎の粒子数の鉛直分布を示す。3000m 以下では $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ の粒子数は B の方がむしろ多いが、 $0.2 \mu\text{m}$ 以上の粒径では A の粒子数の方が多いことが分かる。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 粒子の最大の散乱効率を示す粒径 $0.5 \mu\text{m}$ 付近の粒子数が多いことによって散乱係数が増加したと考えられる。

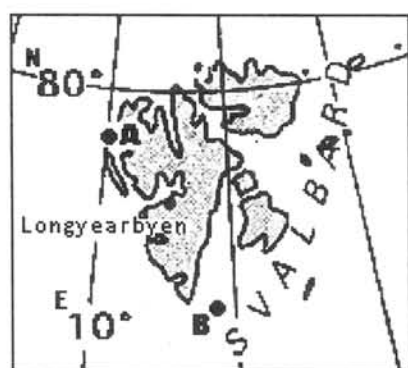


図1 観測範囲

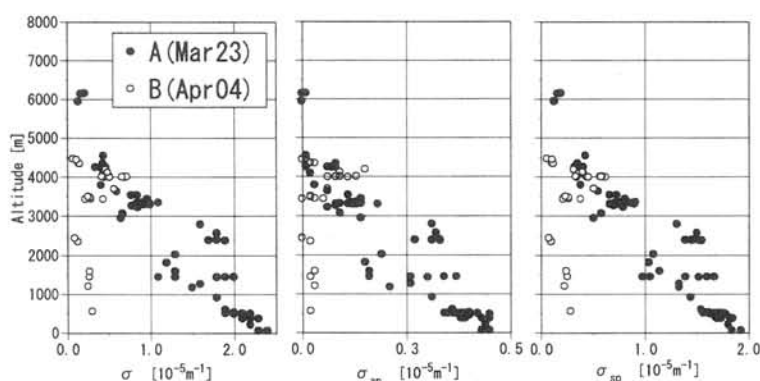


図2 σ 鉛直分布

図3 σ_{ap} 鉛直分布

図4 σ_{sp} 鉛直分布

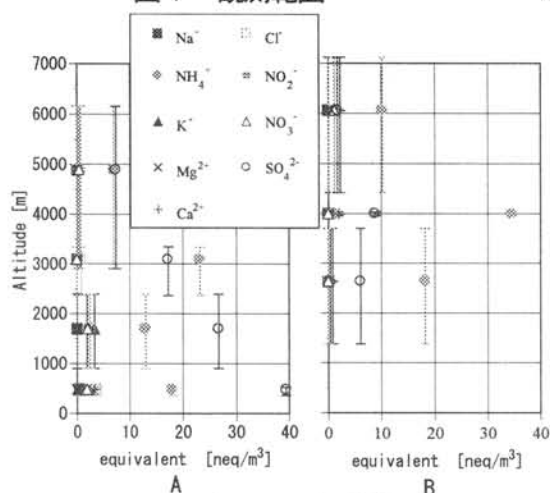


図5 イオン組成

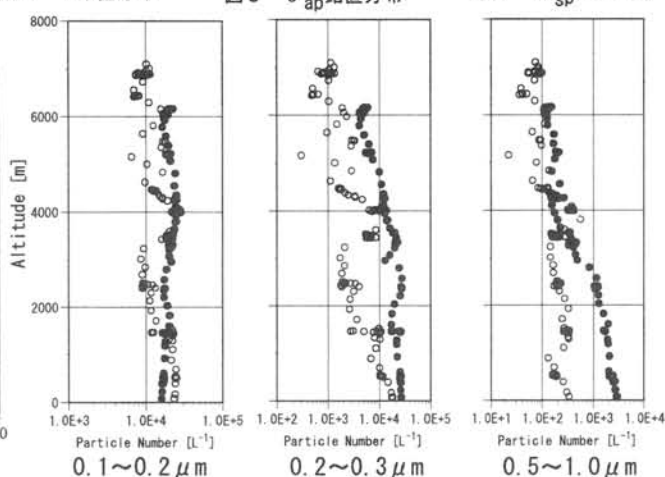


図6 粒子数濃度鉛直分布

この研究は、特定領域研究「北極域対流圏・成層圏物質の変動と気候影響」、基盤研究「北極エアロゾルとオゾン・雲との相互作用およびその気候影響に関する研究」、またアルフレッド・ウェゲナーと極地研との共同研究として行われました。

3 波長ネフェロメータおよび OPC を用いた 北極対流圏エアロゾルの光学特性

矢吹正教（千葉大）、塩原匡貴、山内恭、平沢尚彦（国立極地研）、藤谷雄二、
山形定（北海道大）、西田千春（名古屋大）、竹内延夫、久世宏明（千葉大）

Optical properties of the tropospheric aerosols in the Arctic region using the 3-wavelength nephelometer and OPC measurements

M.Yabuki (Chiba Univ.), M.Shiobara, T.Yamanouchi, N.Hirasawa (National Institute of Polar Research), Y.Fujitani, S.Yamagata (Hokkaido Univ.), T.Nishita (Nagoya Univ.), N.Takeuchi, H.Kuze (Chiba Univ.)

Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR2000) was conducted in March to April 2000. The principal objectives of ASTAR2000 were to observe the tropospheric aerosol and to clarify the behavior of the Arctic haze and the effect of the radiation budget. In this study, we discuss the optical properties based on the 3-wavelength nephelometer and OPC ground measurements at Ny-Alesund, Svalbard. We found that the Arctic haze strongly related to the wind speed and the aerosol optical properties showed special features during the haze event.

はじめに 地球の放射収支を見積もる上で、エアロゾルの光学特性は、非常に重要なパラメータの一つとなる。2000 年 3 月から 4 月にかけて、北極圏スバルバル諸島にて、北極対流圏エアロゾル・放射総合観測が実施された。本研究では、ニーオルスンに地上設置された、3 波長ネフェロメータおよび OPC による大気対流圏のエアロゾルの挙動を観測するとともに、測定された物理特性と北極ヘイズの関連性についても調べた。

観測・解析 ネフェロメータは 450、550、700nm の 3 波長の散乱係数、および 90° 以降の後方散乱が測定可能な TSI 3563 積分型ネフェロメータを、OPC は半径 0.15、0.25、0.50、1.0、 $2.5\mu\text{m}$ の 5ch. を測定できる Rion KC01C を使用した。

本研究では、これらの観測から散乱係数の波長依存性を示すオングストロームパラメータ $[\alpha]$ 、および粒径分布の傾きを示す Junge スロープ $[\beta]$ を求めて、各光学パラメータが北極ヘイズとどのような関連性があるかを調べた。

結果 本研究では、ネフェロメータで測定された波長 550nm の散乱係数が $1.0 \times 10^{-5} (\text{m}^{-1})$ を超えた場合を北極ヘイズと定義した。これは、バックグラウンド時の約 2 倍の大きさであり、またネフェロメータが持つ不確定さ（キャリブレーションおよび散乱角の制限上、実際の大気エアロゾル散乱係数の約 6 割程度が測定値となる）を考慮に入れた場合、この定義した散乱係数の値は約 $1.6 \times 10^{-5} (\text{m}^{-1})$ となる。*Radke et al*[1984]¹⁾は、北極ヘイズを消散係数（＝散乱係数＋吸収係数）で $2.0 \times 10^{-5} (\text{m}^{-1})$ 以上で分類していることから、この定義した値は妥当であると思われる。

Fig.1(a)に、3 波長ネフェロメータにより観測された散乱係数を示す。2000 年 4 月におけるニーオルスンでの北極ヘイズは、4 月 10～12 日、および 21～23 日の 2 回観測された。

Fig.1(b)に 3 波長ネフェロメータおよび OPC の測定結果を用いて導出された、オングストロームパラメータおよび Junge スロープを示す。通常の都市大気において、 α は約 1、 β は約 3 の値を取ることが経験的に知られており、 α と β には、 $\alpha = \beta - 2$ の関係があることが理論上導かれる。本観測において、 α と β は比較的良好な相関（相関係数：0.81）が得られ、 β と α の差は、平均で 1.86 であった。

Fig.1(c)に風速を示す。バックグラウンド時は、風速 3m 以下の弱い風が卓越しているが、北極ヘイズ時または北極ヘイズが起こる直前は、風速 6m 以上の強い風が観測された。また、風向はバックグラウンド時は南西の風が、北極ヘイズ時は北風が卓越した。また光学特性は、バックグラウンド時で、 α が約 1.9、 β が約 3.8、北極ヘイズが始まった時で α が約 0.8、 β が約 2.7 程度であり、 α 、 β ともに北極ヘイズの到来により、その値が 1 以上小さくなっているのが分かる。これは、強風によってもたらされた、海塩粒子等の粗大粒子の舞い上がり原因と思われる。

まとめ 北極圏スバルバル諸島ニーオルスンにおける北極ヘイズの発生には、強い北風の存在が必要不可欠であり、その風速が大きいほどヘイズが大規模なものとなる傾向が見られた。また、北極ヘイズと光学特性 α 、 β には、強い相関が見られ、北極ヘイズの発生を知る重要な手がかりの一つとなる。しかしながら、強い風が吹き、光学特性に変化が現れても、地上でのヘイズが起こらないケースも見られた。気塊が通過した地域やその輸送過程に、北極ヘイズの発生は大きく依存するため、移流や鉛直混合を考慮に入れた総観的な解析が必要となってくる。

発表では、OPC および 3 波長ネフェロメータの両測定結果を用いた、エアロゾル複素屈折率の導出についても述べる予定である。

謝辞 ASTAR2000 は、科研費特定領域北極研究 A01 並びに基盤研究 A(2)「北極エアロゾル」(共に研究代表者：山内恭)により行われた。

1) Radke et al., *Geophys. Res. Lett.*, 11, pp. 393–396, 1984.

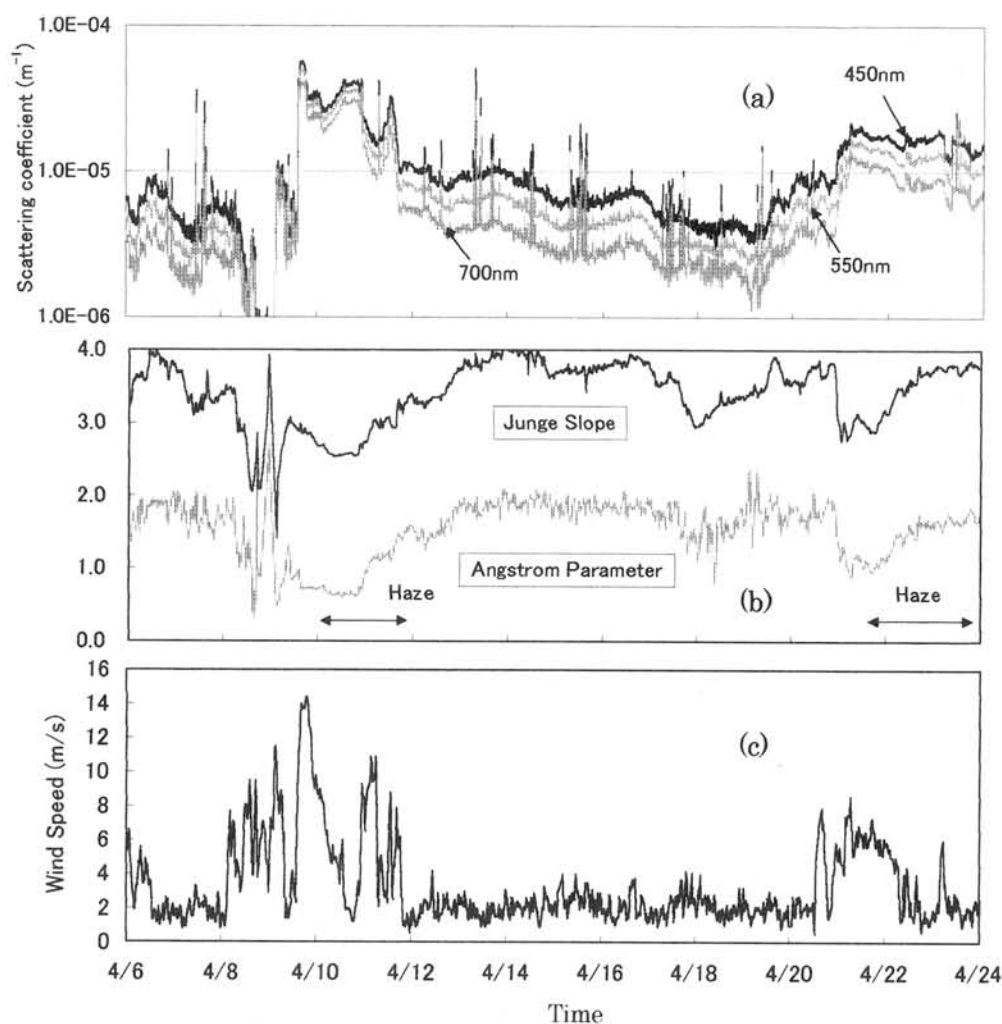


Fig. 1 Temporal change of the (a) scattering coefficient, (b) Junge slope measured by the OPC and Angstrom parameter measured by the 3-wavelength Nephelometer, and (c) wind speed. at Ny-Alesund

春季北極対流圏中の大気エアロゾルの混合状態と鉛直分布

原圭一郎^{*}・岩坂泰信^{\$}・山形定[#]・塩原匡貴⁺・山内 恭^{*}・Andreas Herber⁺
長谷正博^{\$}・中田 晃^{\$}

* : 国立極地研究所、\$: 名古屋大学太陽地球環境研究所、# : 北海道大学工学部、
+ : Alfred Wegener Institute

Mixing states and vertical profiles of atmospheric aerosol particles in spring Arctic troposphere

K.Hara, Y. Iwasaka, S. Yamagata, M. Shiobara, T. Yamanouchi, A. Herber,
M. Nagatani, and H. Nakada

Atmospheric aerosol particles in spring Arctic troposphere were collected using aerosol impactor on airplane "Polar 4" during ASTAR 2000 campaign. Individual aerosol particles on thin-film were observed and analyzed with scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray analysis (SEM-EDX) and transmission electron microscope (TEM). On 23 March with the largest number concentration of aerosol particles in free troposphere, higher relative abundance of soot were found in free troposphere, whereas sulfate particles and sea-salt particles were major constituents in marine boundary layer.

2000年3月上旬から4月下旬にかけて、春季北極対流圏に出現する Arctic Haze やバックグラウンド状態の放射特性や大気エアロゾルの鉛直分布を調べるために、スピッツベルゲン島 Longyearbyen を拠点として、ドイツのアルフレッド・ウェーゲナー研究所 (AWI) と共同で Arctic study of tropospheric aerosol and radiation (ASTAR) キャンペーンにて大気エアロゾルの飛行機観測にて行なった。ここでは、放射に関する見積もり行なう上で、基礎情報となる個々の大気エアロゾル粒子の組成・混合状態とその鉛直分布について得られた観測結果について報告を行なう。

大気エアロゾル粒子の捕集は、大気球によるエアロゾル直接採集用に名大太陽研で開発したエアロゾルインパクターゾンデ (AIS) を航空機観測用に改造して使用した。AIS のインパクター部の仕様は、地上気圧で流量が約 18 LPM、カットオフ粒径が 0.2 μ m である。大気エアロゾル試料は電子顕微鏡による形態観察、特性 X 線による組成分析、各成分の同定用にコロジオン膜を張った TEM グリッドにカーボン、ニトロゲン (NO₃ 同定用)、塩化バリウム (SO₄²⁻ 同定用)、Ca (H₂SO₄ 同定用) を蒸着した 4 種類の薄膜を使用した。個々の粒子の組成分析には走査型電子顕微鏡-X 線分析装置 (SEM-EDX: JEOL JSM-5900) を、微細な粒子の形態、試薬薄膜の反応状況には、透過型電子顕微鏡 (TEM: Hitachi, H-800) を使用した。

図 1 に、自由対流圏でのエアロゾル濃度が最も高かった日である 3 月 23 日のエアロゾル成分の鉛直分布を示す。図中で各成分の総和が 100% を超えるサンプルがしばしばみられるが、これは一部の成分が内部混合していたためである。自由対流圏中では主にスス粒子が 30~90% の割合で分布し、次いで硫酸粒子が 10~70% の割合で分布していた。3 月 23 日の自由対流圏では、各成分の総和がほぼ 100% 付近であることから、この日の Arctic Haze 層内では

ススと硫酸粒子のほとんどは外部混合した状態（違う粒子として浮遊）で存在していたことが示唆される。一方、大気境界層内では、硫酸が過半数を占めていた。図 1 では個数の上での割合を見ていることもあり、海塩粒子の割合は 10~30%の幅で分布していたが、上空に行くにつれ、その割合が減少していた。このことは、境界層内でも海塩粒子の鉛直分布は一樣ではないことを示唆しているといえよう。また、境界層内では各成分の総和が 100%以上になっていることが多かったが、これは硫酸イオンが海塩粒子や土壌性粒子と内部混合していたためである。海塩粒子に硫酸イオンが内部混合している場合、EDX 分析より得られた Na に対する Cl のピーク高さは混合していない海塩粒子よりも低くなっていたことから、硫酸などによる酸性成分による脱ハロゲンが頻繁に起きていることが示唆される。当日は、混合状態の詳細、他の日の観測例、気象データとも比較して、発表を行なう予定である。

謝辞：TEM 観察に東京理科大学の三浦和彦氏、原壮史氏に協力していただきました。

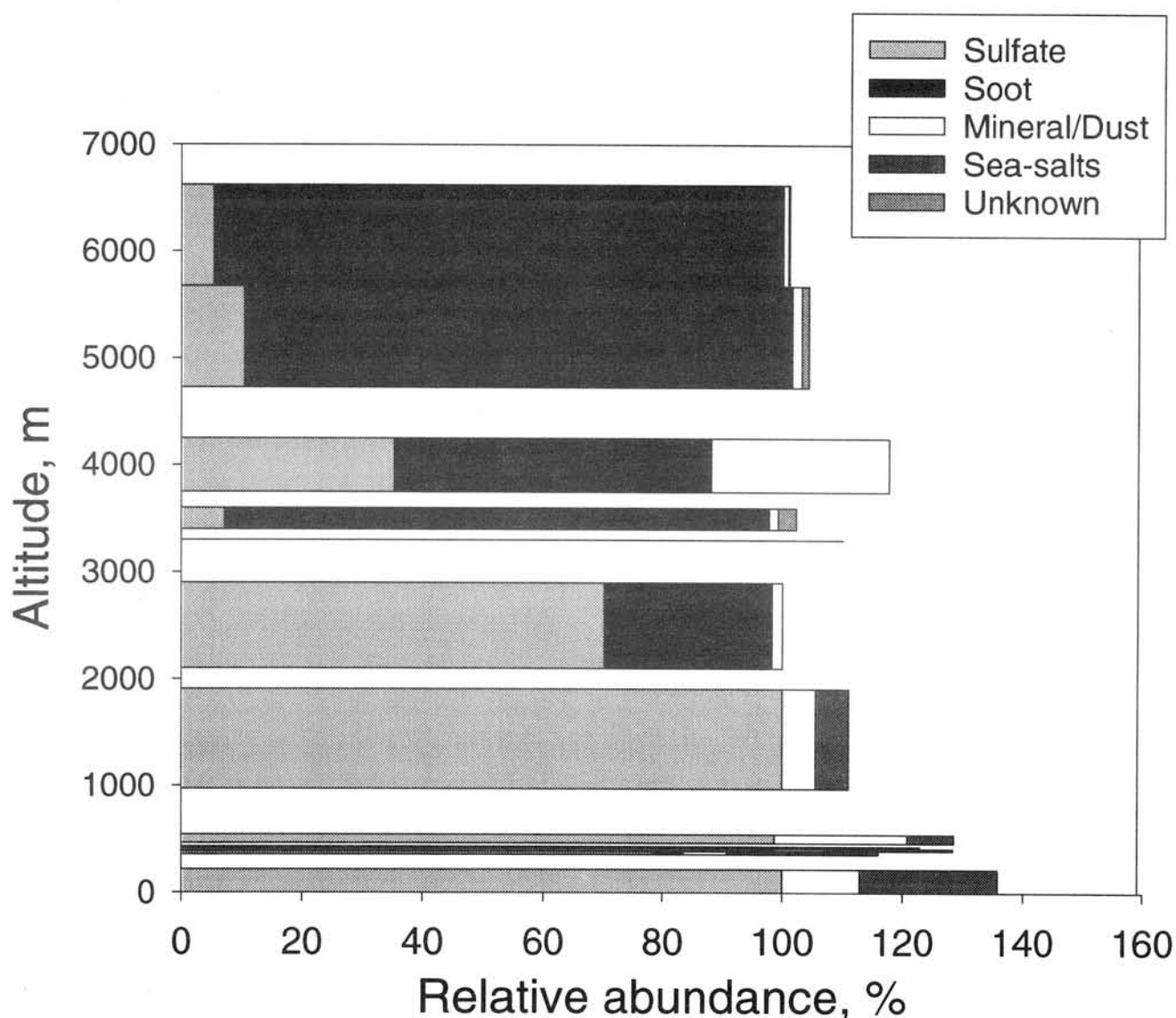


Figure 1. Vertical profile of constituents of individual aerosol particles in troposphere on 23 March 2000.

北極対流圏エアロゾル放射総合観測 (ASTAR2000)

ー ニーオルスン地上観測の概要と速報 ー

塩原匡貴, 山内恭, 和田誠, 平沢尚彦, 原圭一郎, (極地研), 矢吹正教 (千葉大・環境リモ研),
藤谷雄二, 山形定 (北大・工), 西田千春, 柴田隆 (名大・太陽研)

Arctic Study on Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR 2000)

– Preliminary report of ground-based measurements at Ny-Alesund, Svalbard –

M. Shiobara, T. Yamanouchi, M. Wada, N. Hirasawa, K. Hara (NIPR), M. Yabuki (Chiba U.),
Y. Fujitani, S. Yamagata (Hokkaido U.), C. Nishita, and T. Shibata (Nagoya U.)

In order to investigate the radiative effect of the tropospheric aerosols on the radiation budget in the Arctic atmosphere, the Arctic Study on Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR) 2000 campaign was carried out for the period of 15 March – 20 April 2000 in Svalbard. This campaign included ground-based, airborne, balloon-borne, space-borne measurements. In this paper, an overview and preliminary results from ground-based observations at Ny-Alesund (79N, 12E), Svalbard are reported. During the ASTAR 2000 campaign, the Arctic haze events were observed on 23-25 March, 11-13 and 19 April. Data acquired on 26-28 March and 17 April were analyzed for the background cases.

1. はじめに

北極域における対流圏エアロゾルの放射効果とその気候影響を調べることを目的に科研費特定領域北極研究 A01 及び基盤研究 A(2)「北極エアロゾル」(共に研究代表者: 山内恭)により ASTAR2000 が実施された(山内他, 今会期中発表予定)。特に、北極域の対流圏エアロゾルを特徴づけるアーキティック・ヘイズを対象に、その光学的厚さ、散乱・吸収係数、散乱位相関数、粒径分布等の光学特性を航空機観測、地上観測の双方から様々な測器を用いて総合的に観測するもので、ドイツ・アルフレッドウェゲナー極地海洋研究所(AWI)との共同研究観測計画として行われた。本発表では、ASTAR2000の地上観測のうち、特に日本側が行った観測についてその概要と主な観測結果について報告する。

2. 観測項目

ASTAR2000の地上観測は2000年3月15日～4月20日、北極スバルバル諸島ニーオルスン(79N, 12E)で行われた。極地研が維持している現地観測所(通称ラベン)において日本側が実施した観測項目を表1に示す。地上エアロゾルの粒径分布や光学特性の現場測定(SMPS, ネフェロメータ、OPC)、化学分析、電顕観察用のサンプリング(MVS, LVS)、エアロゾルのリモートセンシング(スカイラジオメータ、MPL)で

構成され、関連する観測として雲・降水観測(マイクロ波放射計、レーダー、POSS)が行われた。ラベンではこの他に、気温、気圧、風向風速等の気象要素及び地上オゾン濃度の連続観測がASTARキャンペーン期間を含めて通年観測として実施されている(Morimoto et al, 2000, NIPR Arctic Data Reports, No. 4, 254p)。また、これらの連続観測やエアロゾルサンプリングのほかに、エアロゾルゾンデ観測とOPC係留気球観測がAWIと共同で実施された。これらの地上観測の詳細な解析結果については別途発表される予定であり(塩原他, 平沢他, 原他, 矢吹他, いずれも今会期中発表予定)、ここではキャンペーン期間中の気象の概要とエアロゾルの変化を示す観測結果についてのみ総括的に報告する。

Table 1 Instrumentation for ASTAR at Rabben

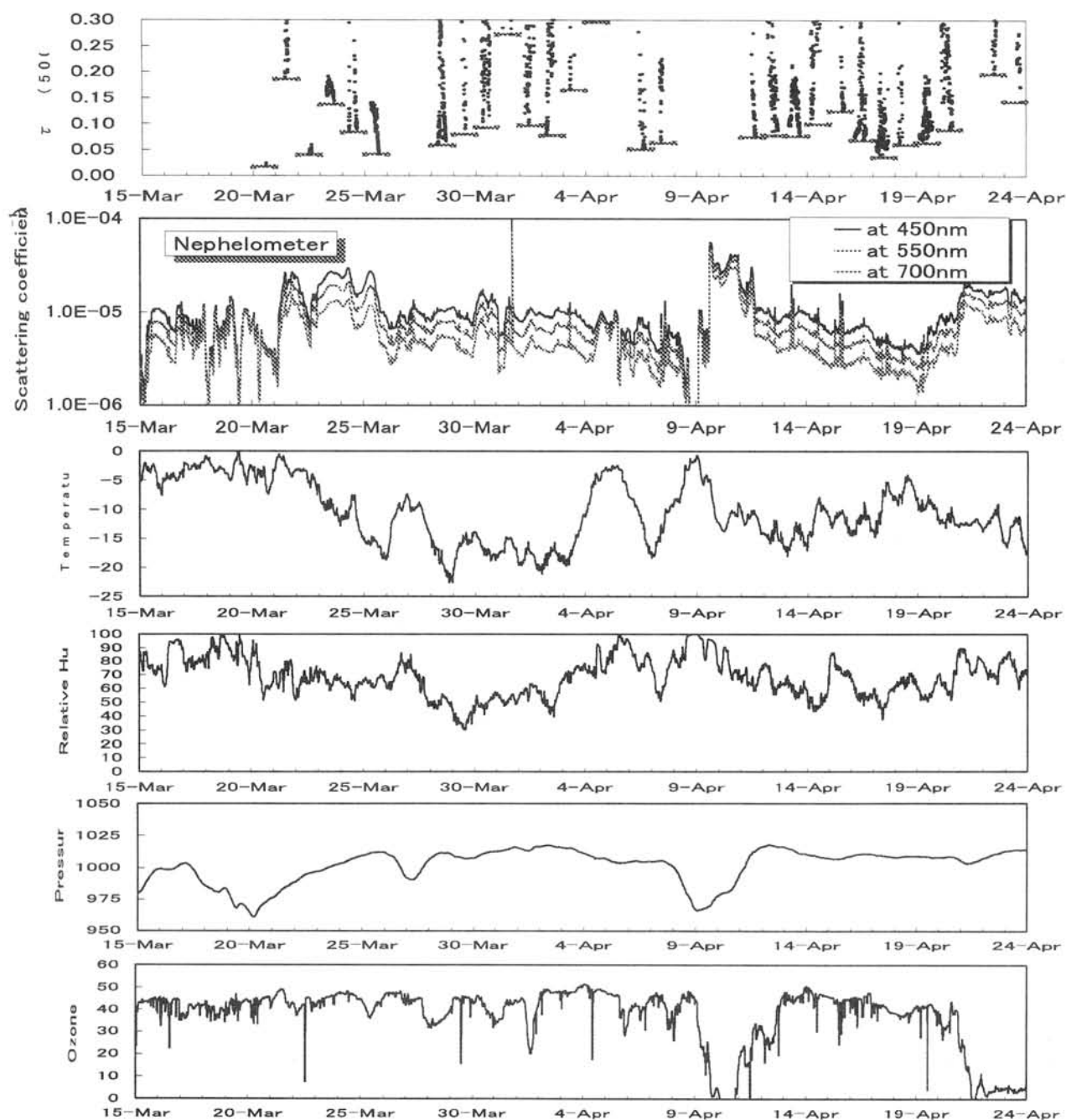
Scanning Mobility Particle Sizer, TSI 3934C	d=0.007-1.0 μ m
Integrating Nephelometer, TSI 3563	λ =450, 550, 700nm, 3 chs
Optical Particle Counter, Rion KC-01C	d=0.3-5.0 μ m, 5ch
Optical Particle Counter, Met-One	d=0.3-5.0 μ m, 2ch
Mid-Volume Sampler, Nagoya-U	d<10 μ m
Low-Volume Sampler, Dylec VS-20	2 μ m separat.
Sky-Radiometer, Prede POM-01	λ = 368-1045nm, 7 chs
Micro Pulse Lidar, SESI MPL	λ =524nm, Δ h=30m
Microwave Radiom., Radiometrics WVR-1100	23.8, 31.4GHz
Vertical Pointing Radar, JRC	10GHz (X-band)
Precip. Occur. Sensor System, Andrew	p=0.01-18000mm/h

3. 結果

下図はキャンペーン期間中のスカイラジオメータ (Prede POM-01) によるエアロゾルの光学的厚さ (τ ; 波長 500nm) とネフェロメータ (TSI 3563) によるエアロゾル散乱係数の時間変化およびその時の気温、湿度、気圧、地上オゾン濃度 (ただし暫定値) の変化である。 τ は雲のデータを排除する目的から日最低値を横棒線で示した。散乱係数は地上のエアロゾル濃度を反映しており、これを高度積分したものが光学的厚さに相当する。そのため、 τ の変化と散乱係数の変化は必ずしも一致しないが、3/23 前後と 4/22 前後のエアロゾルの増加および 4/7 前後と 4/17

前後の減少は両者で一致している。この時、地上 OPC のデータはネフェロメータと同様の変化を示した。つまり、強いアーктиック・ヘイズは対流圏全層に及んでいたと言える。また、ヘイズ到来前の気象は擾乱の通過により強い北風が吹くことが多かった。4/10、4/22 前後のヘイズ時には特に地上オゾンの減少が著しく、ヘイズとの関連が化学分析と併せて調べられている。

謝辞: ASTAR2000 ニーオルスン地上観測は、NIPR、AWI、ノルウェー極地研究所 (NP)、ノルウェー大気研究所 (NILU)、ストックホルム大学気象学教室 (MISU) との共同研究観測として実施された。



ASTAR2000 期間中のスカイラジオメータ観測に基づく アークティック・ヘイズの光学特性

塩原匡貴（極地研），矢吹正教（千葉大・環境リモ研），山内恭（極地研）

Optical properties of the Arctic haze derived from sky radiance measurements at Ny-Alesund, Svalbard during the ASTAR 2000 campaign

M. Shiobara (NIPR), M. Yabuki (Chiba U./CEReS), and T. Yamanouchi (NIPR)

During the Arctic Study on Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR) 2000 campaign, sky radiance measurements with a Sky-radiometer, Prede POM-01, were carried out at Ny-Alesund (79N,12E), Svalbard for deriving aerosol optical properties, e.g., size distributions, scattering phase functions, optical depths and refractive indices. In this paper, the difference of optical properties between the Arctic haze and background aerosols is shown and discussed.

1. はじめに

北極域における対流圏エアロゾルの放射効果とその気候影響を調べることを目的に「北極対流圏エアロゾル放射総合観測（ASTAR2000）」が実施された（山内他、今会期中発表）。特に、北極域の対流圏エアロゾルを特徴づけるアークティック・ヘイズについて、その光学的厚さ、散乱・吸収係数、散乱位相関数、粒径分布等の光学特性を航空機観測、地上観測の双方から様々な測器を用いて総合的に観測するものである。ここではそのうち、スカイラジオメータを用いた天空散乱光の分光観測から得られたエアロゾルの光学特性について、特にアークティック・ヘイズとバックグランド・エアロゾルの違いに着目した解析結果について報告する。

2. 観測と解析の方法

ASTAR2000 の地上観測は2000年3月15日～4月20日、北極スバルバル諸島ニーオルスン(79N,12E)で行われた。スカイラジオメータ(Prede, POM-01)は、極地研が維持している現地観測所の屋上に設置した(Photo 1)。スカイラジオメータの観測データの解析には、Nakajima et al. (1996, *Appl. Opt.*, **35**, 2672-2686) による天空散乱光インバージョン法(SKYRAD)を用いた。この解析法により、エアロゾルの光学的厚さ、散乱位相関数、屈折率、粒径分布を求めることができる。特に、光学的厚さについては、サンフォトメータ法がそのキャリブレーションに強く依存するのに対してSKYRAD法はあまり依存しないのが利点である(Tanaka et al, 1986: *Appl.*

Opt., **25**, 1170-1176)。また、粒径分布については、SKYRAD 法では概ね半径 $0.1\sim 8\mu\text{m}$ のエアロゾル粒子の粒径分布の推定が可能であり(Shiobara et al, 1991: *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 57-70)、一般的にサンフォトメータ法に比べて推定範囲が広い。ただし、スカイラジオメータ観測は(サンフォトメータ観測も同様であるが)日中晴天下での観測が基本であるため、夜間及び曇天時のデータがなく、解析例が限定されるのが難点である。

観測期間中のエアロゾルの光学的厚さ(波長500nm)の値から、光学的厚さの値が大きい北極ヘイズ出現時(HZ)のデータとして3/23, 3/25am, 4/13, 4/19、また、相対的に清澄なバックグランド時(BG)のデータとして3/22, 3/25pm, 4/17の解析を行った。



Photo 1 Skyradiometer, Prede POM-01, placed on the rooftop of Rabben Observatory, Ny-Alesund.

3. 観測結果

3月23日から25日午前中にかけて顕著なアークティック・ヘイズが見られ、その時のエアロゾルの光学的厚さは0.1~0.2に達した。HZの例として、3/23のエアロゾルの粒径分布（体積スペクトル）をFig.1に示す。ただし、前述のとおり $r < 0.1 \mu\text{m}$ 及び $r > 8 \mu\text{m}$ の領域は信頼性に乏しい。得られた粒径分布はサブミクロン粒子が支配的であることが特徴的である。BGの例として求めた粒径分布（Fig.2）と比較すると、いずれも $r = 1 \mu\text{m}$ 付近に海塩起源エアロゾルを思わせるピークがある見られるが、それはBGで顕著であり、相対的に小粒子の寄与が小さい。また、このとき同時に推定されたエアロゾルの屈折率は、多くの場合実数部 1.45~1.55、虚数部 -0.005~-0.01 の値をとり、これまで中緯度の観測で報告されている値と大きな相違はなかった。

このような解析を全期間を通して行い、得られた光学特性のうち、エアロゾルの光学的厚さ（ τ ）、オングストローム係数（ α ）、単散乱アルベド（ ω_0 ）について、HZ 時と BG 時に分けてその頻度分布を調べたのが Fig.3 である。その結果、HZ 時にはBG 時より α はやや大きく、 ω_0 はやや小さい値を示したが、概してHZ 時とBG 時とで大きな違いは見られなかった。

謝辞：本研究は科研費特定領域北極研究 A01 及び基盤研究 A(2)「北極エアロゾル」（共に研究代表者：山内恭）により行われた。データ解析では、東大 CCSR・中島映至氏、山野牧氏、気象研・山崎明宏氏にご協力いただいた。ここに記して感謝します。

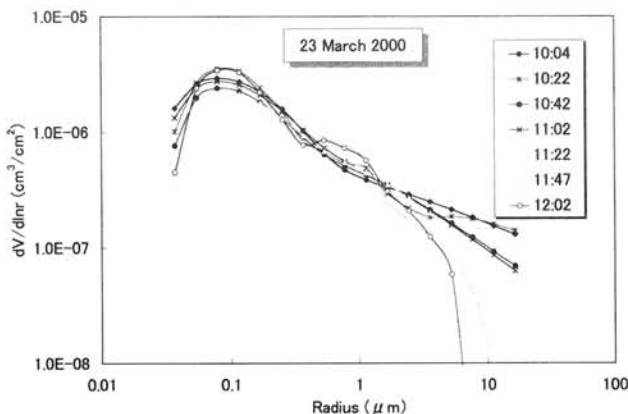


Fig. 1. Volume-size spectra retrieved from sky radiance measurements for Arctic haze on 23 March 2000.

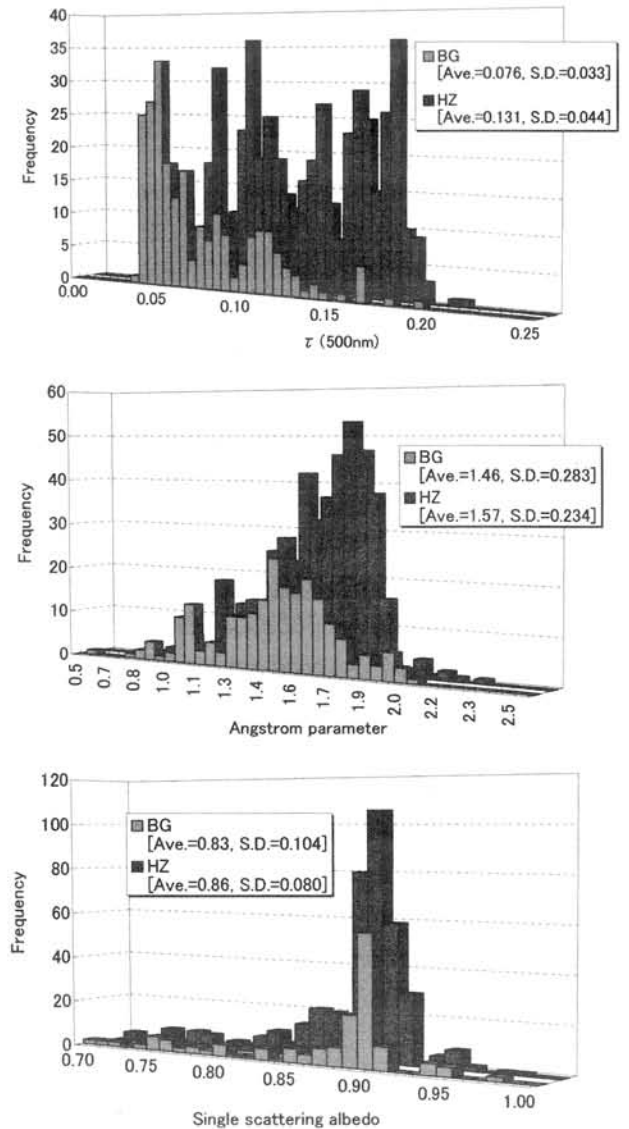


Fig. 3. The occurrence frequency of the aerosol optical thickness τ at $\lambda=500\text{nm}$ (top), Angstrom parameter (middle), and the single scattering albedo (bottom) for the Arctic haze events (HZ) and the background cases (BG).

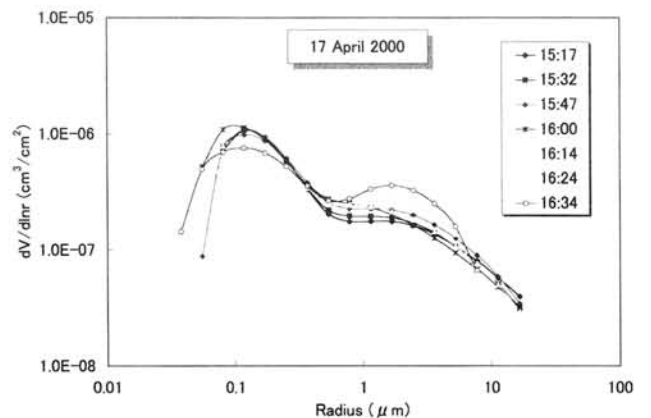


Fig. 2. Volume-size spectra for background aerosols on 17 April 2000.

マイクロパルスライダーで観測された北極対流圏エアロゾルの挙動

矢吹正教（千葉大）、塩原匡貴、山内恭（極地研）、
柴田隆（名大）、竹内延夫、久世宏明（千葉大）

Behavior of the tropospheric aerosols in the Arctic region measured by
Micro Pulse Lidar at Ny-Alesund, Svalbard

M. Yabuki (Chiba University), M. Shiobara, T. Yamanouchi (National Institute of Polar Research), T. Shibata (Nagoya University), N. Takeuchi, H. Kuze (Chiba University)

Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR2000) was conducted in March to April 2000. The principal objectives of ASTAR2000 were to observe the tropospheric aerosol and to clarify the behavior of the Arctic haze and the effect of the radiation budget. The MPL is a useful tool to observe the aerosol behavior and worked well during the campaign. In the case of March 25, there occurred the arctic haze event causing to fall down the upper aerosol rich layer.

はじめに エアロゾル鉛直分布の連続観測が可能な MPL は、時間的・空間的に変化するエアロゾルの挙動を知るのに適した測定器である。本研究では、2000 年 3 月から 4 月にかけて北極圏スバルバル諸島にて行われた、北極対流圏エアロゾル・放射総合観測（ASTAR2000）期間中の、マイクロパルスライダー（MPL）観測について報告する。

観測・解析 MPL（米国 SESI 社製）はスバルバル諸島ニーオルスン（79N, 12E）のラベン観測所に設置され、1998 年より断続的に観測が行われている[Shiobara, 2000]。MPL は、各高度別のエアロゾル・空気分子による後方散乱の強度を測定するものである。信号強度からのエアロゾル消散係数の導出には、Fernald 法¹⁾を用いて解析を行った。

観測結果 3 月 23 日から 25 日午前中にかけて北極ヘイズが起これ、断続的にエアロゾルが増減を繰り返した。Fig.1 に、2000 年 3 月 25 日のエアロゾル消散係数鉛直分布の時間変化を示す。午前 6 時から 12 時にかけて、直径 $3\mu\text{m}$ 以上の地上エアロゾル粒子数濃度が、午前 0 時に比べて約 2 倍増加したが、パーティクルカウンターの測定からわかった。このエアロゾルの増加は、Fig.1 から分かるように、エアロゾルを豊富に含む高度約 2km に位置する上層が、混合層内に沈降してきたために引き起こされたものと考えられる。エアロゾルの輸送は、横方向の移流と上下方向の混合があるが、MPL の観測により、鉛直方向のエアロゾルの挙動を明らかにすることが出来た。

謝辞 ASTAR2000 は、科研費特定領域北極研究 A01 並びに基盤研究 A(2)「北極エアロゾル」（共に研究代表者：山内恭）により行われた。

- 1) F.G.Fernald, "Analysis of atmospheric lidar observations: some comments", *Appl. Opt.*, 23, pp. 652–653, 1984.
- 2) Shiobara, M., "Arctic cloud and aerosol observations using a Micro-Pulse Lidar in Svalbard," Proc. 1st Intl. Workshop on Spaceborne Cloud Profiling Radar, Tsukuba, 24–26 January 2000, pp. 179–182, 2000.

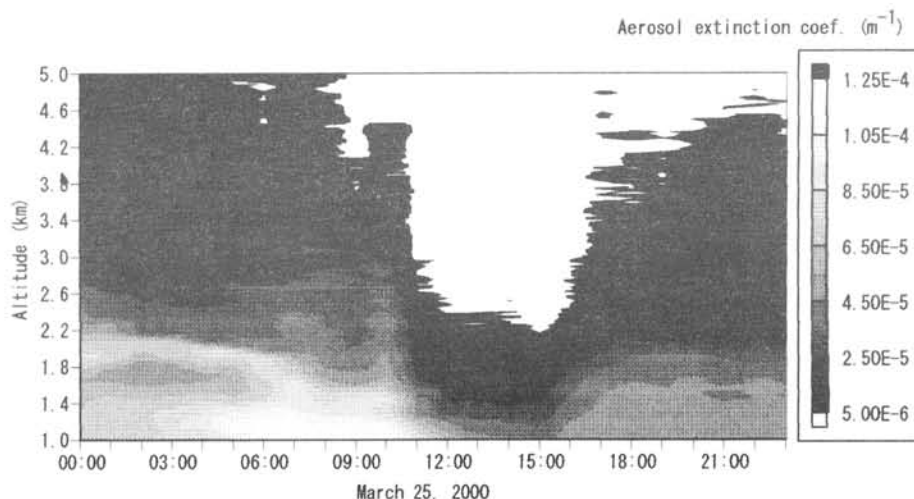


Fig.1 Daily change of the extinction coefficient profile at Ny-Alesund (March 25, 2000).

航空機によるアークティックヘイズの微細構造観測

山形定、藤谷雄二、太田幸雄、村尾直人（北海道大学大学院工学研究科）、山内恭、塩原匡貴、原圭一郎（国立極地研究所）、Andreas Herber（アルフレッドウェーゲナー研究所）

Aircraft Observation of Fine Structures in Arctic Haze

YAMAGATA, S. Fujitani, Y., Ohta, S., Murao, N. (Hokkaido University), YAMANOUCHI, T., SHIOBARA, M. Hara, K., (National Institute of Polar Research), Herber, A., (Alfred Wegener Institute)

Fine structures of Arctic Haze were observed with aircraft flying up/down across haze layers. Aerosol particles were introduced into the diffuser inside the cabin and then distributed to an optical particle counter. From the flights across hazes horizontal inhomogeneity in haze layers were observed. In some cases air containing high concentration of particles corresponded to the region that had similar potential temperature.

航空機観測やゾンデで得られたさまざまなデータをもとに鉛直プロファイルが作成される。航空機などが通過するのは各高度につき1点であるため、そこで得られたデータがその高度の代表値とならざるをえない。たとえばある高度で高濃度の粒子が観測されると、そのデータから作成した鉛直プロファイルは、その高度一面にわたって粒子が高濃度で存在したかのような印象を与える。しかし、高濃度粒子が観測された高度が一様な粒子濃度であるかは不明である。そこで、ヘイズ層のより詳細な空間構造を明らかにするために、高濃度粒子が観測された高度を挟むように鉛直・水平方向にジグザグ飛行をおこない、粒子濃度を観測した。

2000年3月15日から4月20日に渡っておこなわれたASTAR(Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation)2000キャンペーン期間中、4日(4月13, 14, 16, 20日)、計6回のジグザグ飛行をおこなった。Fig.1に4月14日に北緯78.2-79.2° 東経15.7-23.0°の領域で得られた粒子濃度(粒子径0.1~0.2 μm , 0.2~0.3 μm)の鉛直プロファイルを示す。ここでは航空機が上昇している時と下降している時に得られるデータが、サンプリング時の時間遅れなどにより同一でない可能性を排除するために、上昇時に得られたデータのみを用いている。各グラフの上を示した数字は鉛直プロファイルを作成するための上昇・下降飛行の順番であり、奇数時が上昇飛行になっている。1~7までの鉛直プロファイルでは高度3000m以上の高度で、0.2~0.3 μm の粒径を持つ粒子数がより小さな粒径0.1~0.2 μm を持つ粒子数よりも多い領域があるのに対し、9番目以降の鉛直プロファイルでは、このような逆転が見られなくなっている。また1~7, 9~17はそれぞれ鉛直プロファイルが類似しているものの、少しずつピークの高さなどがずれており、ヘイズ層が水平方向に一様に広がったものではないことを示している。

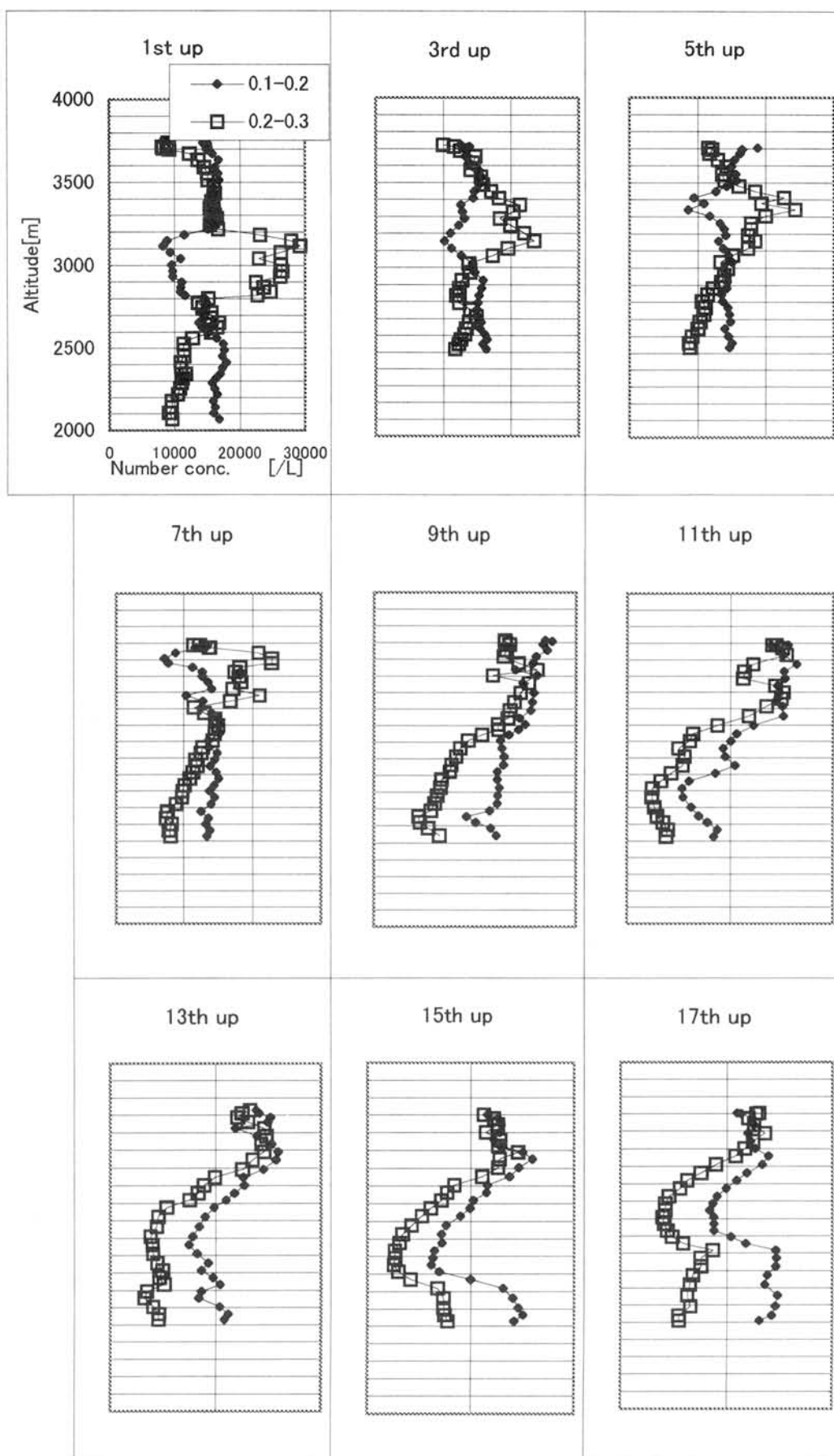


Fig.1 Vertical profiles of aerosol number concentration of each upward leg.
 Number concentrations of 0.1–0.2 μm (\blacklozenge) and 0.2–0.3 μm (\square)

Ny-Alesund における惑星境界層のエアロゾル粒子数の鉛直分布

平沢尚彦 (極地研)、矢吹正教 (千葉大)、西田千春・柴田 隆 (名大 STE)、山形 定 (北大)、塩原匡貴
・山内 恭・原 圭一郎 (極地研)、林 政彦 (福岡大)

Aerosol particle number distribution in planetary boundary layer observed with tethered OPC-sonde at Ny-Alesund

Hirasawa, N. (NIPR), Yabuki, M. (Univ. of Chiba), Nishita, C., Shibata, T. (STEL, Nagoya Univ.),
Yamagata, S. (Hokkaido Univ.), Shiobara, M., Yamanouchi, T., Hara, K. (NIPR)
and Hayashi, M. (Fukuoka Univ.)

Results of tethered OPC-sonde in ASTAR2000 are presented. Two kinds of OPC-sonde were installed in this campaign. One is responsible for particle diameters of $>0.5 \mu\text{m}$ and $>0.3 \mu\text{m}$, and the other of $>3.6 \mu\text{m}$, $>1.2 \mu\text{m}$, $>0.8 \mu\text{m}$, $>0.5 \mu\text{m}$ and $>0.3 \mu\text{m}$. Variation of particle number in vertical profiles in PBL is less intensified than in free atmospheric layer. The temporal variation of particle number in PBL is generally synchronized with those at surface based on another continual observation.

1. はじめに

ノルウェーの NyAlesund を拠点にした ASTAR2000 に関連して、係留気球によるエアロゾル粒子数分布の観測を試みた。本公演では、全 10 回の係留観測と放球観測の結果を報告する。

我々が用いた OPC ゾンデは英文要旨に示すように 2 種粒径と 5 種粒径の 2 つのタイプを使った。このうち、5 種粒径タイプのゾンデは比較的大きな重量であり、設定した観測条件が厳しく、期間中に 1 回だけの観測にとどまった。

2. PBL 内の粒子数の鉛直分布

図 1 には、4 月 12 日 21UT の係留観測結果を、図 2

には 4 月 12 日 17UT の放球観測の結果を示す。図 1 に見られるように、どちらの粒径についても粒子数は上層に向かって若干減るものの、よく混合されていることを反映してほぼ均質なプロファイルが得られている。それに対し、PBL の上の対流圏自由大気中 (図 2) では比較的大きな振幅の変動が現れている。今回の結果からは、PBL の上面は約 1500m 付近であると推定され、PBL の全容を観測するためには、今回持ち込んだ係留システムより少し大きなものが必要である。

当日は、OPC 地上観測結果を交えて時間的な変動との対応や係留観測の様子についても紹介する。

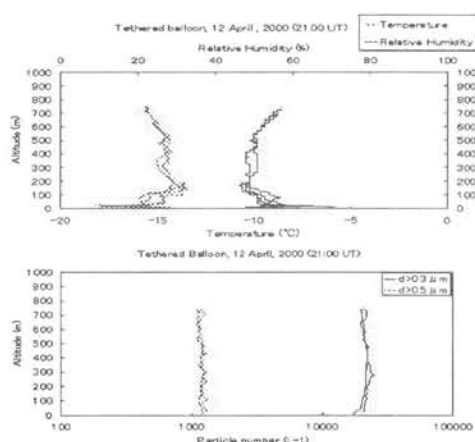


図1 2000年4月12日21UTの係留観測結果。

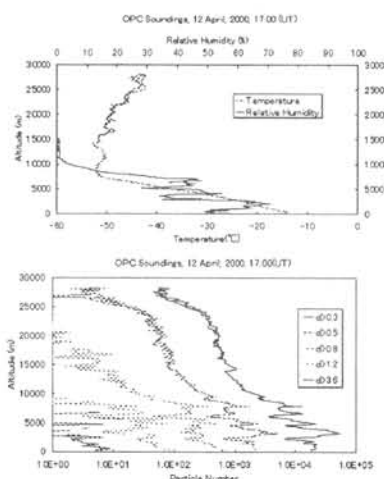


図2 2000年4月12日17UTの放球観測結果。

春季北極域での地上オゾン消失現象とハロゲンサイクル

原圭一郎¹・長田和雄²・西田千春²・森本真司¹・橋田 元¹・青木周司³・藤谷雄二⁴
塩原匡貴¹・矢吹正教⁵・平沢尚彦¹・松永捷司²・岩坂泰信²・山内 恭¹・柴田 隆²

1:極地研, 2:名大太陽研, 3: 東北大, 4: 北大, 5: 千葉大

Surface ozone depletion and halogen cycle in boundary layer of the spring Arctic

K. Hara, K. Osada, C. Nishita, S. Morimoto, G. Hashida, S. Aoki, Y. Fujitani, M. Shiobara, M. Yabuki, N. Hirasawa, K. Matsunaga, Y. Iwasaka, T. Yamanouchi, and T. Shibata

Atmospheric aerosol particles and acidic gases were collected at Ny-Ålesund, Svalbard using a 3 stage filter holder with PTFE filter and alkaline impregnated filters during the winter-spring. During low O₃ concentration, higher concentrations of coarse aerosol particles with the size of 1.0-2.0 μm and Na⁺ were found. Thus, O₃ depletion events should occur in oceanic air masses. However, other possibility other than transport of oceanic air mass may have important role in O₃ depletion event, because transport of oceanic air mass was observed just before first O₃ depletion event in this spring. Although BrO₃⁻ was found as minor aerosol constituents, its concentration did not increased during lower O₃ concentration. However, BrO₃⁻ might have important roles in halogen cycles in marine boundary layer, since higher BrO₃⁻ concentration was found in oceanic air masses with higher Na⁺ concentration during winter-spring Arctic.

春季北極境界層内では、日射の復活によるハロゲンサイクルの活性化に伴う O₃ 濃度消失現象が起きることが知られている。しかしながら、今まで観測されてきた成分では、気相中での高反応性を維持するためには収支が合わず、エアロゾル粒子表面での不均一反応や、積雪・海氷表面と大気との物質移動や第三の成分の可能性が考えられている。ここでは、大気エアロゾル粒子上での不均一過程の観点から春季北極大気中での地上オゾン減少とハロゲンサイクルについて報告する。

大気試料採取は、スピッツベルゲン島の Ny-Ålesund(78°55'N, 11°56'E)で、2000 年 1 月～4 月下旬に行った。大気エアロゾル粒子成分と酸性ガス成分は粒子成分をプレフィルター(PTFE; pore size 1.0μm)で捕集した後に、アルカリ含浸ろ紙上に捕集した。基本的に 1～3 月には、1 日毎にフィルター交換を行い、4 月は半日毎に交換するようにした。試料は分析前に抽出操作を施し、イオンクロマトグラフ法で各成分を定量した。また、4 月中のエアロゾル個数濃度は、Rion 社製の KC-01 にて計測した。

図 1 に示すように、今年の春先には 2 度の大きな O₃ 濃度現象が確認された(図中 A, B)。いままでの観測結果(例: Barrie *et al.*, 1994)では、O₃ 濃度低下時にハロゲン化合物、特に臭素化合物の濃度が増加することが示されていた。今回の観測においても、低 O₃ 濃度時にハロゲン化合物の増加が観測された。特にガス体の臭素化合物濃度(図 1b)が劇的に増加し、ガス状塩素化合物(図 1a)にも増加が見られた。しかしながら、粒子体 nss-Br⁻(図 1e)の増加は極僅かに見られただけだった。O₃ 濃度減少時には、図 1d に示すように、1.0-2.0μm の粒径の粗大エアロゾル粒子数濃度が急激に増加していた。図示はしていないが、微小粒子においても増加傾向は確認されたものの、粗大粒子で見られた様な明瞭な増加ではなかった。過去 4 年間の観測結果から、粗大粒子の

主成分は海塩粒子と推測される。実際に粗大粒子数濃度変化と Na^+ 濃度変化は良い一致を示していたため、 O_3 濃度減少は海洋性大気中で起きていることが示唆される。しかしながら、第1回目の減少(図中 A)の直前にも、海洋性大気の輸送(Na^+ 濃度増加)が見られたが、 O_3 濃度に変化は見られていなかった。このことから、単純に海洋性大気が日射の復活した極域に輸送されただけでは、 O_3 濃度減少は起きず、海洋性大気の輸送以外の要因が介在することが考えられる。

春季極域で見られる O_3 濃度減少は、臭素系ラジカルの $\text{Br} \rightleftharpoons \text{BrO}$ の触媒的反応により進行すると考えられているが、このサイクルを維持するための Br や BrO の供給源がはっきりしていない。今回、観測された臭素酸イオン(BrO_3^- : 図 1f)の前駆体の一つは BrO であり、 BrO_3^- 自身は光分解によって、 $\text{BrO}_3^* \cdot$ や $\text{BrO}^* \cdot$ といった高反応性の臭素化合物を放出するため、 BrO_3^- が O_3 濃度減少とハロゲンサイクルのリンクに何らかの関係があることが期待される。しかし、 O_3 濃度減少時には、 BrO_3^- 濃度変化には g_Br のような顕著な増加は見られなかった。Langendörfer *et al.* [1999] によると、低 O_3 濃度下では高反応性臭素化合物からの HBr 生成が促進され、 BrO 濃度自体は低下するようである。そのために、低オゾン濃度下では BrO からの BrO_3^- 生成が抑制され、 BrO_3^- 濃度が低かった可能性がある。また、冬季やオゾン消失が起きていない春季での海洋性大気中(高濃度 Na^+ 下)では、 BrO_3^- 濃度が増加する傾向が見られたため、 BrO_3^- が冬春季北極境界層内でのハロゲンサイクルにおいて、非常に重要な役割—例えば反応性臭素化合物の蓄積—を担っている可能性も考えられる。

References

- L. A. Barrie *et al.*, *J. Geophys. Res.*, **99**, 25439-25451, 1994
U. E. Langendörfer *et al.*, *J. Atmos. Chem.*, **34**, 39-54, 1999.

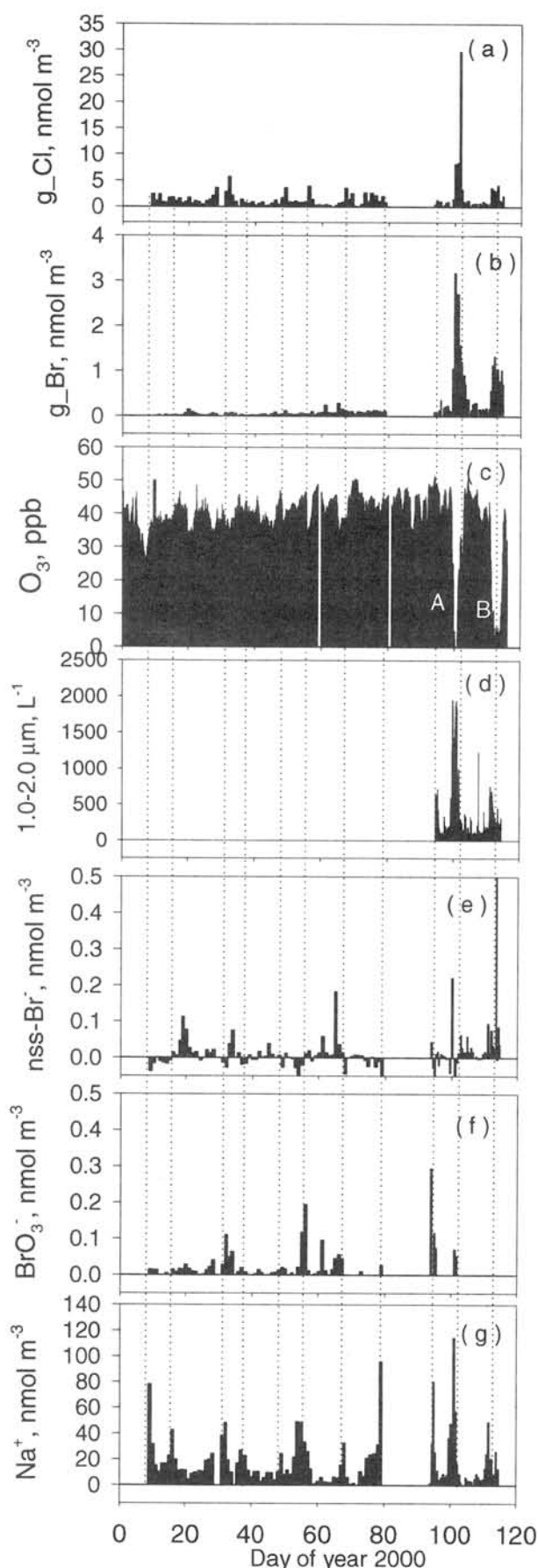


Figure 1. Variations of the concentrations of (a) gaseous inorganic chlorine (g_Cl), (b) gaseous inorganic bromine (g_Br), (c) O_3 , (d) coarse aerosol particles with size of 1.0–2.0 μm , (e) nss-Br^- , (f) BrO_3^- , and (g) Na^+ on April in 2000.

北極・NyAlesund における大気エアロゾル粒子の粒径分布 ($10 < D < 365 \text{ nm}$)

西田千春¹ 原圭一郎¹, 現在は² 長田和雄¹ 木戸瑞佳¹ 岩坂泰信¹ 柴田隆¹ 和田誠² 塩原匡貴²
(1: 名大・太陽研、2: 極地研)

Size distributions of atmospheric aerosol ($10 < D < 365 \text{ nm}$) at NyAlesund, Norwegian Arctic

C. Nishita¹ K. Hara^{1,2} K. Osada¹ M. Kido¹ Y. Iwasaka¹ T. Shibata¹ M. Wada² M. Shiobara²
(1: Nagoya Univ. STEL, 2: National Institute of Polar Research)

Number size distributions of submicron atmospheric aerosol in the size range 10-365nm were measured between February 18 and 29, 2000 at Svalbard Islands, NyAlesund ($78^{\circ} 55' \text{ N}$, $11^{\circ} 56' \text{ E}$). The number size distributions exhibited bimodal shape with Aitken mode and accumulation mode between Feb. 18 and 21. But Aitken mode vanished and Nucleation mode appeared between Feb. 25 and 28, due possibly to the change of air mass.

はじめに

大気エアロゾル粒子の粒径分布には、粒径 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の領域に Aitken mode ($20 < D < 100 \text{ nm}$) と Nucleation mode ($D < 20 \text{ nm}$) が存在するとされている。対流圏や遠隔地域におけるサブミクロン粒子数濃度や粒径分布の観測は、近年、しばしば行われている。しかし、核生成や Nucleation mode の成長に焦点をおいて行われることが多く、光化学反応に伴う粒子生成がほとんど期待できない極夜における観測例は非常に少ない。

本研究では、2000 年 2 月、北極 NyAlesund において行った粒径 $10\text{--}365 \text{ nm}$ の大気エアロゾル粒径分布の観測の結果を報告する。

観測

観測はスバルバル諸島ニーオールスン ($78^{\circ} 55' \text{ N}$, $11^{\circ} 56' \text{ E}$) において 2000 年 2 月 18 日から 2 月 29 日の期間に行なわれた。NyAlesund では、この時期はまだ極夜が明けていないが、真昼はうす明るい。

粒径分布の観測は TSI SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) を用いて行った。SMPS は Differential Mobility Analyser (DMA 3071) と Condensation Particle Counter (CPC 3022) により構成されている。今回の観測では、一回の測定サイクルにつき、Up scan、Down scan を 60 秒、30 秒間かけて測定を行った。

サンプル空気は地上に設置されたコンテナの天井 (地上約 4 m) より、流量 0.6 L/min でコンテナ内の測定装置へ導入した。コンテナの道路をはさんで南方向には、飛行場がある。サンプル空気の導入の際のサンプリングチューブ内壁への粒子沈着によって起こる粒子数の損失は無視することはできず、何らかの損失に対する補正が必要であると考えられるが、本発表では未補正のデータを用いた。

また、二酸化硫黄などの酸性ガスとアンモニア濃度の測定は含浸濾紙を用いて行われた。

結果

Figure 1 に、(a) 観測地点の風速風向、(b) SO_2 、 NH_3 濃度、(c) $10 < D < 316 \text{ nm}$ の粒径範囲の粒子数濃度を示した。(d) は数濃度粒径分布 ($dN/d\log D$) をコンターマップに示したものである。18 日から 21 日は、夜間に粒子数濃度が相対的に低く、Accumulation mode ($D > 0.1 \mu\text{m}$) と Aitken mode の二つのモードが現れた。そして、真昼の数時間には、急激に粒径 20 から 50 nm のモードの粒子濃度が増加した。25 日から 28 日には 20 nm 以下のモード (Nucleation mode) が断続して現れた。この粒径分布の変化は気塊の性質の変化に関連している可能性がある。

Figure 2 に、観測された粒径分布のなかでも特徴的な 4 つの例を抜きだして示した。(a) は粒子濃度の低いときの例である。三例すべてに粒径 $0.1 \mu\text{m}$ 以上にモード (Accumulation mode) が見られた。(b) は 2/21 の真昼に現れた粒径分布である。粒径 20 nm に高いモードがあらわれ約 2 時間程度で消滅した。このような 18 日から 21 日の真昼に起こった粒子の増加が、昼の薄明かりによる SO_2 の光化学反応によるものである可能性は否定することはできない。しかし、モード粒径の変化がほとんど見られないことや、風速が弱いことから、航空機の離着陸や除雪車などの観測地点のごく近隣からの汚染の影響をうけた可能性も考えられる。(c) は 25 日以降の粒径 20 nm 以下にモードがある粒径分布の例である。(d) の例は、Figure 1 のコンターマップでは帯状に濃い色で塗りつぶされている時の粒径分布である。 10 nm 以下に高いモードがある粒径分布をしており、ほかと比べて粒子数濃度が数桁以上高い。23 日と 24 日には、このような粒径分布が 8 時間を超えて継続した。このとき何らかの人為的な汚染の影響を受けた空気を観測していた可能性が高いが、継続時間や観測された時間帯から航空機の離着陸や自動車が原因であるとは考えられない。それ以外の汚染源には発電所などが考えられる。

発表では上に挙げたような粒径分布のパターンについて、気象条件に関する情報などもあわせて、さらに詳細な検討を行う予定である。

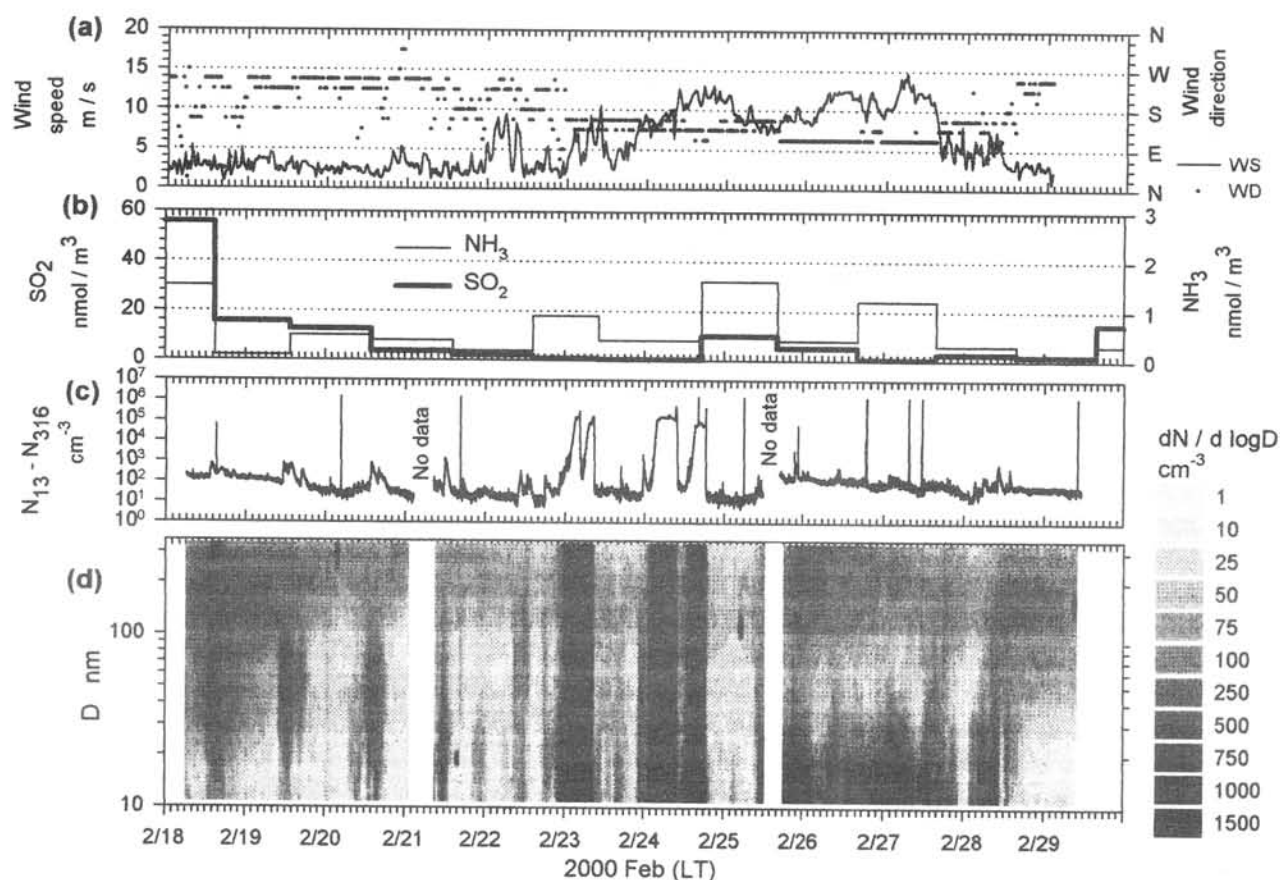


Figure 1. Time series of (a) wind speed (solid line), wind direction (dot), (b) concentration of SO₂ and NH₃, (c) N₁₀-N₃₁₆ (number concentration in the size range 10-316nm), and (d) contour plot of dN/dlogD size spectra (1 hour resolution).

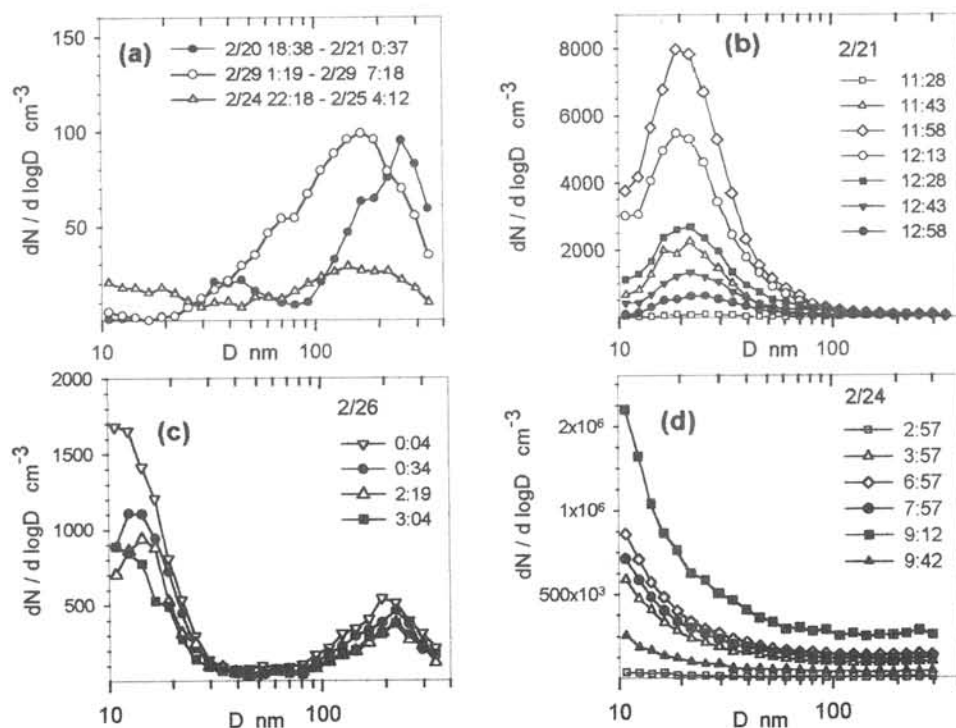


Figure 2. Examples of number size distribution measured at NyAlesund. (a) is 6 hour average, and (b), (c), (d) are 15 min average.

ドームふじ観測拠点と昭和基地におけるエアロゾル濃度・粒径分布の変動

林 政彦・*松本易典（福岡大学理学部）
 長田和雄・岩坂泰信・長谷正博・中田滉（名古屋大学 STE 研）
 田阪茂樹（岐阜大教育学部）・⁴ 飯田孝夫（名古屋大工学部）
 平沢尚彦・山内恭（極地研）

Variation of surface aerosol concentrations at Dome F and Syowa Station

M.Hayashi, Y.Matsumoto (Fukuoka Univ.), K.Osada, Y.Iwasaka, M.Nagatani, H.Nakada (Nagoya Univ.), S.Tasaka (Gifu Univ.), T.Iida (Nagoya Univ.), N.Hirasawa, T.Yamanouchi (NIPR)

Surface aerosol concentrations were measured with optical particle counters and condensation nuclei counters from February 1997 to January 1998 at Dome F and Syowa Station, Antarctica. Measurements show the seasonal variation in aerosol concentration and size distribution. Sudden enhancement of concentrations which are possibly due to exchange of air-mass are frequently found in winter at both stations. The relationship between aerosol size distribution and variation mechanism of both stations in winter will be discussed.

1. はじめに

南極地域は、地球大気物質循環における一つの sink であり、地球大気における物質循環を理解する上でその役割を知ることは極めて重要なことである。これらのことはエアロゾルの循環についても同じである。

南極内陸・沿岸部での物質循環、特に南極エアロゾルの起源や物理化学過程を調べるために、南極・ドームふじ基地(77°S, 39°E, 3810m a.s.l.)および昭和基地(69°S, 39°E)において、1997年2月から1998年1月まで地上エアロゾルの比較観測が行われた。本研究では、2つの観測点における地表エアロゾルの数濃度・粒径分布の季節変動の特徴、特に、冬季に二つの基地で観測されるエアロゾル粒子数濃度の増大現象について報告する。

2. 観測装置

直径 0.07 μm 以上のエアロゾル粒子数濃度は、両基地で共通して、2種類の光散乱式粒子計数装置 (TD100, TD500s: シグマテック) を用いて粒径別計測を行った。直径 0.07 μm 以下の粒子については凝結核計数装置 (CN counter) を使用した。両基地ともに、試料大気を屋内に吸引後、分岐し、計測をおこなっている。

3. 観測結果

小粒子(直径 0.07~0.3 μm)数濃度は、既に報告されている南極点をはじめとする基地で観測された CN 濃度と同じ、夏高濃度、冬低濃度の季節変動を示した。一方、大粒子(直径 0.3 μm 以上)数濃度は、夏季は比較的安定した濃度で、冬季に変動が大きかった。この季節変動は両基地で類似していた。

冬季において、基地活動による汚染の影響がまったくないと判断される状況のもとで、数時間内に小粒子数濃度が 1~2 桁程、急増する現象(高濃度の持続時間は約半日の時間スケール)が両基地でみられた。昭和基地で見られる急増現象は、たいていの場合、ブリザードの来襲や風速、湿度の増加を伴って起こっている。一方、ドームふじで見られる濃度増加においては、各気象要素(気圧、温度、風速)との相関は見られなかった。南極大陸内陸部に位置する南極点基地においても冬季の一時的な濃度増大が観測され、海洋性気団の侵入に伴って、海洋上のエアロゾルが内陸部に運ばれることに起因するという報告もあるが、詳細についてはまだ検討中である。

濃度増加が見られた2例(ドームふじでは 5/14, 7/12, 昭和基地では 5/20, 8/28)の6時間毎の個数粒径分布を図1に示す。図中の破線は増大が起きる前、即ちおおそ冬季のバックグラウンド濃度に対応している。増大時の小粒子数濃度は両基地ともに数百[個/cm³]のオーダーで、破線時より1, 2桁程濃度が高かった。両基地とも濃度増加は全粒径範囲で起こっているが、ドームふじでは、とりわけ小粒子側での増大が顕著に見られた。さらに、ドームふじにおいて、濃度増大後は小粒子の濃度減少に伴って大粒子側にもう一つのモードが見られるようになり二峰分布を示す。一方、昭和基地では、ほとんどの場合、濃度増加後は大粒子が急減し、粒径分布のスロープが急になる傾向であった。(図1の 8/27~8/29 はこの傾向とは異なっている。) 当日は、CN counter や飛行機観測のデータも照らし合わせ、エアロゾル輸送機構について検討する予定である。

謝辞： 厳しい環境下での観測を成功させるために惜しみない協力をしていただいた、第 38 次南極地域観測隊の皆様へ感謝いたします。

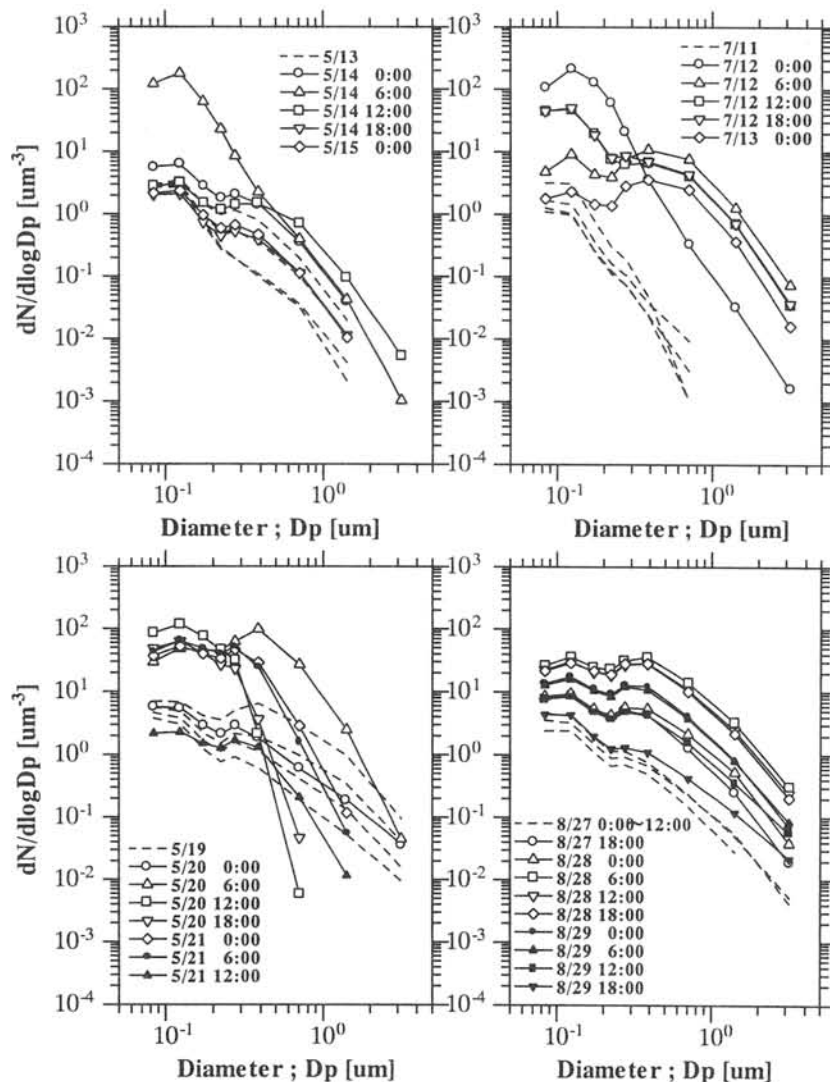


図1. ドームふじ観測拠点および昭和基地での冬季における個数粒径分布の時間変動 (上部がドームふじ、下部が昭和基地を表す)

南極・昭和基地周辺における冬季海塩エアロゾル粒子に関連した 海水上積雪中海塩成分比の考察

○長田和雄¹・原圭一郎^{1,2}・木戸瑞佳¹・改井洋樹³・山内恭²・
松永捷司¹・岩坂泰信¹

1:名大・太陽研、2:極地研、3:リモート・センシング技術センター

Ratios of sea-salt components in snow over sea ice near Syowa Station, Antarctica, in relation
to the origin of sulfate depleted sea-salt aerosol particles in winter

○K. Osada¹, K. Hara^{1,2}, M. Kido¹, H. Kai³, Yamanouchi², K. Matsunaga¹, Y. Iwasaka¹

1: Nagoya University, STEL, 2: NIPR, 3: RESTEC

This study presents chemical composition of snow over sea ice near Syowa Station obtained in winter to early spring of 1999, in relation to the origin of sulfate depleted sea-salt aerosol particles often observed in winter. Ratios of Cl^-/Na^+ in snow were always higher than the sea water ratio, whereas ratios of $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$ were lower. Degree of SO_4^{2-} depletion relative to the sea water increased with increasing Na^+ concentrations. The depletion of SO_4^{2-} may be related to the fractionation of mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) during sea ice growing processes and formation processes of sea-salt particles in the cold atmosphere.

東南極・昭和基地における地表大気エアロゾルサンプルの中には、 Na^+ を基準にした海水中での成分比に較べて、 SO_4^{2-} 濃度が低い試料中にも冬季に見受けられている。冬季の南極沿岸部において量的に主要なエアロゾル粒子は海塩粒子と考えられているが、南極海が起源域であろうと推測されてはいるものの、発生から輸送・沈着するまでの諸過程については多くが未解明のままである。

過去、海塩核濃度の測定によると、低気圧による擾乱時のみならず、降水を伴わない南風の時には海塩核濃度が上昇する場合もある(菊地・矢浦、1970)。また、晩冬から初春にかけて昭和基地で地表大気中オゾン濃度が急激に減少する際に海塩粒子濃度が急増し、オゾン急減現象をもたらす気象場・大気化学場の解明について、海塩粒子の発生から輸送・変質・沈着過程の研究が大きな鍵となるかもしれない。一方、海氷上の積雪が風で削剥されて生じた飛雪が氷未飽和の気象条件下で昇華蒸発し、場合によっては数ミクロンの海塩粒子を生成する可能性も指摘されている(長田ほか、1988)。

そこで、昭和基地周辺での海水上積雪にふくまれる海塩成分について化学解析を行った。積雪試料は1999年7月から9月にかけて、比較的厚い所と薄い所が近接している場所で積雪表面から深度別に採取した。積雪試料は常温で日本に持ち帰り、イオンクロマトグラフ法で化学分析した。分析に際しては、電気伝導度の測定から、目的とする成分の濃度に合わせて注入量と希釈率を変更した。

図-1に厚い積雪での7月と9月の解析例を示す。採取地点はごく近いが、 Na^+ 濃度の深度分布は大きく異なっており、「同じ雪の時間変化」が追えるわけではないのかもしれないが、どちらの深度分布にも言える特徴的なことが幾つかある。例えば、 NO_3^- 濃度が100 ng/g前後と、大陸上沿岸部のS-25の結果(Watanabeら、1999)に較べて若干高目であったこと、 Cl^-/Na^+ 比は常に海水比よりも高いが逆に $\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$ 比は常に低いことなどが挙げられる。図-2には、 Na^+ 濃度と SO_4^{2-} 濃度の関係を示す。図中の点線より上側の点(a~c)のうち、bとcは海氷にごく近い部分の積雪だった。これら以外は、 Na^+ 濃度が増加するにつれて SO_4^{2-} が海水比から低下していた。これは、海氷の生成・成長過程や冷たい海洋大気中の海水飛沫生成過程での $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ の分離が関与していると思われる。

文献:長田ほか(1988)、南極資料、32(1)、17-24; 菊地・矢浦(1970)、1970年度気象学会春季大会講演要旨集、113; Watanabeら(1999)、PMG、13、64-74.

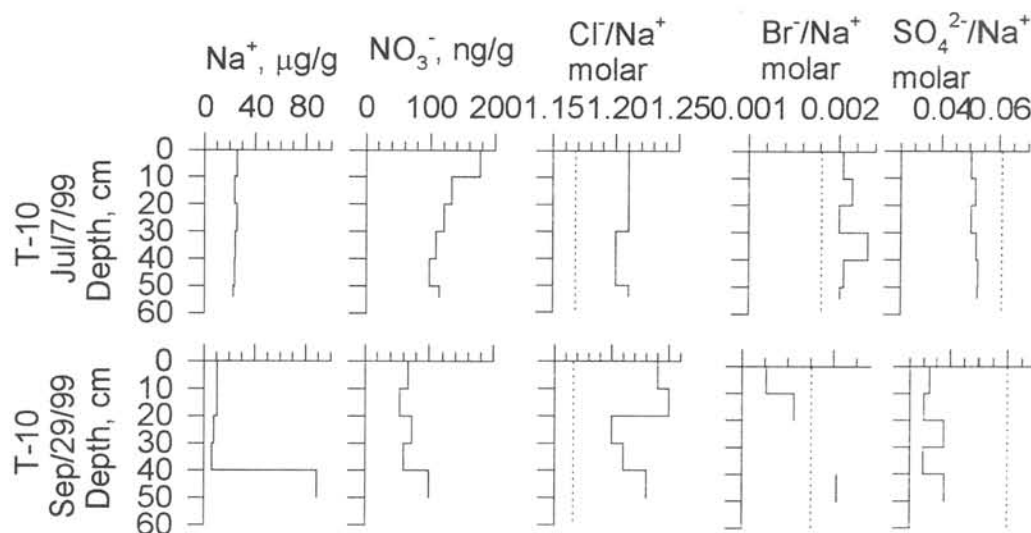


図-1 1999年7月7日(上段)と9月29日(下段)にT-10地点で採取した海氷上積雪の結果。点線は海水比を示す。

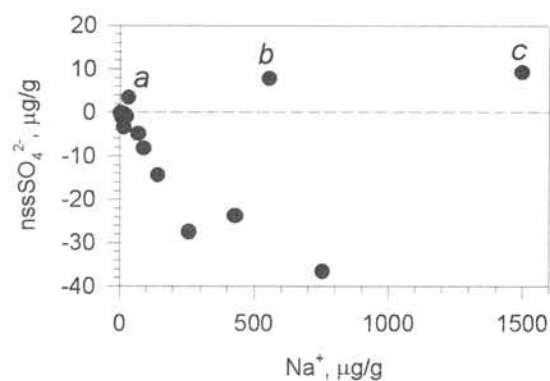


図-2 1999年7月から9月にかけて採取した海氷上積雪の濃度比。

* 試料採取にご協力いただいた第40次日本南極地域観測隊の方々に感謝いたします

JTクーラーを用いた成層圏大気クライオサンプラーの開発 (3)

森本真司、山内恭（極地研）、本田秀之（宇宙研）、青木周司（東北大・理）

Development of a cryogenic air sampling system using a JT cooler (3).

S. Morimoto, T. Yamanouchi (NIPR), H. Honda (ISAS) and S. Aoki (Tohoku Univ.)

Abstract.

To clarify distributions and variations of stratospheric trace gases using a small balloon, it is necessary to develop a small and light cryogenic air sampler. For this purpose, we have continued fundamental experiments with the new cryosampler in which a JT cooler produces a temperature of 27K by adiabatic expansion of high pressure Ne gas. By using a cryo-fin newly developed, we confirmed that the new sampler had a capacity to collect low pressure air of 25 to 200 hPa at a rate of 0.5 to 1.1 LSTP/min.

成層圏における温室効果気体の濃度とその同位体比の分布と変動を明らかにするためには、低圧の成層圏大気を大量に採取できるサンプリングシステムが必要である。これまで、液体ヘリウムで冷却した高真空のサンプルチューブに大気を凝縮採取するシステムが実用化されているが、重量が350kgと非常に大型であったため、このシステムを成層圏高度まで上昇させるためには大型気球を用いる必要があった。我々は、高圧ネオンガスの断熱膨張時に発生する寒冷によって低圧大気を凝縮固化する、小型クライオサンプラーの開発を目指している。

これまでの実験で、1) 液体ネオン温度に冷却した高圧ネオンガスをJTクーラー素子に導入することによって液体ネオンを製造できること、2) 発生寒冷量はネオン圧力が100-150kgf/cm²の時に10~25Wであること、3) JTクーラー素子を組み込んだ試料容器を用いて圧力122~5hPaのN₂ガスを0.4~1.0LSTP/minの速度で採取できること、が明らかになった。しかし、採取気体として純空気を使用した場合には採取速度が非常に小さくなることが問題であった。

そこで試料大気を凝縮固化するクライオフィン部を改良し、採取気体として圧力25~200hPa（高度約25~12kmの気圧に相当）の純空気を使用して、低圧空気採取実験を行った。その結果、実験を行った全ての圧力において、0.5~1.1LSTP/minの速度で試料空気を採取できることが明らかになった。現在、さらに試料の採取効率を高めるべくクライオフィン部の構造の最適化を行っている。

カナダ・ユーレカ基地上空のオゾンについて (Ⅲ) 1999/2000 年の観測結果

廣田道夫 (気象大)、宮川幸治 (高層气象台)、永井智広 (気象研)、牧野行雄 (気象研)
内野修 (気象庁観測部)、赤木万哲 (気象庁観測部)、H. FAST (カナダ大気環境局)

On the Stratospheric Ozone Loss over Eureka Station in the Canadian Arctic (Ⅲ)
The Ozone Depletion in 1999/2000

M. HIROTA, K. MIYAGAWA, T. NAGAI, Y. MAKINO
O. UCHINO, K. AKAGI and H. FAST

In 1999/2000, Eureka remained inside the polar vortex in the lower stratosphere from December to March with a few short interruptions. Daily temperatures at 50 hPa when the lower stratosphere over Eureka was inside the polar vortex were very low, and PSCs were observed over Eureka. From February to March, intravortex ozone mixing ratio in the lower stratosphere decreased by 2.5ppmv from 4.5 to 2.0ppmv. And the total ozone over Eureka was as low as in 1994/95, 1995/96 and 1996/97. These suggest that the chemical ozone loss in 1999/2000 inside the polar vortex was large.

気象研究所では1993年からカナダ北極圏のユーレカ基地において冬季にPSC等のライダー観測を行っている。ここでは同時に行われているオゾンゾンデ観測の結果について報告する。

ユーレカ基地のオゾンゾンデ観測によると、1999/2000年の冬から早春にかけて、月平均オゾン全量及び50hPa面の気温は、それ以前の2ヶ年に比較して低めに推移した。これは、この年ユーレカ上空の下部成層圏(温位475K面)が12月から3月にかけて、3月はじめを除くと、ほぼ極渦内にあったこと。およびその期間内の50hPa面の気温(T_{50})が前2ヶ年に比べて低かったことによるとと思われる。この結果PSCは観測開始以来、最も頻繁に観測された。

極渦内の下部成層圏における渦位(PV)とオゾンの混合比との間には、オゾンの強い化学的破壊が無い限り正相関が期待される。しかし、この年のユーレカでは、2月から3月にかけて、PVはほぼ一定であったのに対しオゾンの混合比は4.5ppmvから2.0ppmvまで、2.5ppmv減少した(Fig.1)。そして極渦内のオゾン全量は1994/95, 1995/96及び1996/97年同様少なかった。オゾンの減少に対応して、地上からのFT-IR観測では、春にHCl/HF比が、大きく減少した。これらのことは、この年下部成層圏において極渦内の化学的なオゾン破壊が大きかったことを示唆している。

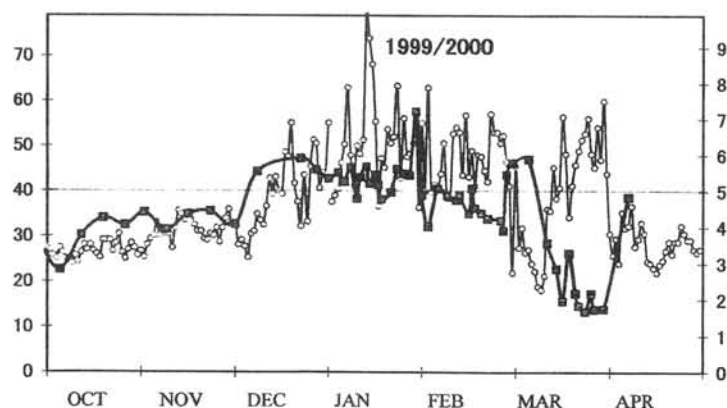


Fig.1 Potential vorticity and ozone mixing ratio at 475 K potential temperature level over Eureka
○: potential vorticity : $\times 10^{-6} \text{ K m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$
■: volume mixing ratio of ozone : ppmv
—: potential vorticity = $40 \times 10^{-6} \text{ K m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ kg}^{-1}$

北極極成層圏雲の数値シミュレーション

柴田 隆、ディアナ・ダネヴァ、田村耕一、加藤尊士、岩坂泰信（名大 STE 研）
白石浩一、松本易典、藤原玄夫（福岡大学理）

Numerical simulation of arctic PSC

T. Shibata, D. Daneva, K. Tamura, T. Kato, Y. Iwasaka (STEL, Nagoya University),
K. Shiraishi, A. Matsumoto, M. Fujiwara (Dept. of Earth System Science Fukuoka University)

A box model of arctic PSC has been developed to simulate PSC particle growth in arctic stratosphere. The model uses Lagrangian scheme in radial space as the model. The model will be used for the estimation of ozone destruction in arctic with a photochemical model

北極上空で観測された PSC（極成層圏雲）の生成は、通常の硫酸水溶液からなるバックグラウンドエアロゾルが温度の低下に従い、硫酸／硝酸／水の三成分液滴を経て、硝酸／水の二成分液滴に至る組成の変化ではほぼ説明される。また、PSC の一部は固体粒子であるが、その密度は液相の粒子に比べて非常に（約 3 ～ 4 桁）小さく、大勢は液相 PSC が支配していることを示した（*JGR*, **104**, 21613-21619, 1999）。温度がさらに低下し成層圏の霜点（約 188K）を下回ると、上記液体 PSC に代わって氷粒子がほとんどとなるが、北極上空ではこのような低温は頻繁には発生しない。

PSC が発生しているような条件下での北極上空の光化学過程、特にオゾン破壊、をモデル化するには、PSC の生成、PSC 表面への気体成分の凝結、もしくは表面からの蒸発、PSC の表面反応、なども同時にモデル化する必要がある。柴田他はライダー観測された PSC の特徴を再現するために、PSC のボックスモデルを作成し、上記 PSC の相・組成の変化を確かめた。しかしながら、このモデルは温度が低下している状況での凝結過程は正確にシミュレートできるが、温度上昇時の蒸発過程を正確再現するように設計されていなかった。今回、光化学モデルへの組み込みも考慮して PSC 生成モデルを再度設計し作成した。本モデルでは、粒子個々の成長・消滅を追うために粒径軸方向の粒子の変化にはラグランジュスキームを採用し、蒸発時の PSC の変化も正確に再現可能となるように設計している。また、生成過程が必ずしも明らかでない固体 PSC については、観測結果を使ってパラメータ化することができるよう試みている。

液体 PSC が成長すると周辺の硝酸ガスを吸収し、気相の硝酸濃度が減少させる（脱窒過程）。実際、2000 年冬季のライダー観測では成層圏気温が低下し始めて 2 週間ほどは、上記液滴 PSC の著しい成長が観測された。しかしながらその後、温度がさらに低下（しかしながら霜点以上）した状況で、逆に、液滴 PSC が見られなかった。より低温で液滴 PSC が観測されないことは、前述のごとく、2 週間におよぶ低温、液滴 PSC の発達下で脱窒が生じていて可能性を強く示唆している。

北極成層圏の温度は空気塊によってラグランジュ的に見た場合、霜点近くの低温と PSC がまったく存在しない二百数十 K の高温を繰り返していることが多い。すなわち、総観規模の運動では、極渦内の低温域を出入りするが多い。このような温度変化に対して PSC の消長を再現しつつ硝酸ガス、さらには窒素酸化物の減少を見積もることはオゾン濃度の変化を計算する際にも必要となる。

本研究で作成している PSC モデルはライダー観測結果の解釈への利用とともに北極成層圏光化学モデルへの組み込みを目指して開発をすすめている。

1999/2000 年冬季スバルパール上空におけるライダー観測

白石浩一、松本易典、林 政彦、藤原玄夫(福岡大)

柴田隆、足立宏、酒井哲、石井昌憲、田村耕一、加藤尊志、岩坂泰信(名古屋大)

Lidar observation above Svalbard in the winter of 1999/2000.

K.Shiraishi, Y.Matsumoto, M.Hayashi, M.Fujiwara(Fukuoka University)

T.Shibata, H.Adachi, T.Sakai, S.Ishii, K.Tamura, T.Katou, Y.Iwasaka(Nagoya University)

Lidar observation of stratospheric aerosols has been made over Ny-Aalesund, Svalbard every winter season since January 1994. Last winter, the lidar observation was made from January 10 to March 3, 2000 and many PSCs events were detected intermittently. PSCs detected on Jan.10,2000 shows the vertical sandwich structure where a liquid layer is sandwiched two solid layers vertically. But after January 10, we detected frequently PSCs composed mainly of solid particles in spite of very low temperature.

はじめに

冬季、極成層圏に発達する極成層圏雲(PSCs)は、その粒子表面での不均質反応により塩素分子を不活性な状態から活性な状態に代え、春先に起こるオゾン現象に非常に重要な役割を担っていると考えられている。近年のフィールド観測や室内実験により、PSCsのある程度の見解は見えてきているが、固体粒子の生成や粒子の組成等に関しては、十分に説明できるような理論を確立していないのが現状である。

我々は、1993年9月ノルウェイ、スバルパール島のニーオルセン(79°N, 12°E)にライダー観測基地を設置し、1994年1月以降冬春季の観測を実施している。6回目となる今回のキャンペーンは、2000年1月10日から3月4日にかけて実施された。スバルパール上空の成層圏の温度は、1999年12月初旬から中旬にかけて非常に低温になり、観測開始当初から、PSCsを頻繁に検出している。

本発表では、1999/2000年冬季ライダー観測により検出したPSCsについての特徴を述べ、これまでのキャンペーンで検出したPSCsの特徴・様相を述べるとともに、PSCsの発達の様相や生成過程について議論する。

観測装置、及び解析結果

観測に使用したライダーシステムは、前年度と同様のシステム構成になっている。光源としてYAGレーザーの1064nm、532nmの2波長を使用し、受信系は、532nmの射出し

たレーザーの偏光面に対して平行成分と垂直成分、1064nm(平行+垂直)、そして窒素と水蒸気のラマン散乱成分、の計5つのチャンネルで測定を行った。

Fig1-4は、1999/2000年冬季ライダー観測の代表的なプロファイルを示している。

観測開始当初の1月10日は、成層圏の気温は非常に低温であり、高度17~25kmにかけてPSCsを検出している(Fig.1)。散乱比のピーク(21km)を2つの偏光解消度のピーク(18km, 23.5km)が挟み込むような、すなわち球形粒子主体の層を非球形粒子主体の層が挟み込むようなサンドイッチ状の鉛直構造をしている。このようなサンドイッチ状の鉛直構造をしたPSCsは、例年、温度がNATのfrost point($\text{H}_2\text{O}=5\text{ppmv}$, $\text{HNO}_3=10\text{ppbv}$)より5-7K低くなった高度域で頻繁に検出されている。Alfred Wegener Instituteによる現地での1日1回のレーウィンゾンデ観測によれば、そのような低温領域が、12月下旬(24日あたり)から観測開始の1月10日まで、ニーオルセン上空で連日して観測されている。

1月10日以降も温度が非常に低温の状態が続くが、例年のようなサンドイッチ状のPSCsは検出することが出来ず、散乱比は小さくなり、散乱比の増加に伴い偏光解消度も増加するような非球形粒子主体の層を頻繁に検出している(Fig2-4)。これは、PSC粒子のsourceと考えられる硝酸蒸気や水蒸気が、12月下旬から続いた成層圏気温の低下によってもたらされる空気塊の沈降、PSC粒子自身の重力沈

降等により、成層圏から除去されたためではないかと考えられる。また、Fig.3,4 には、2月19日、2月26日の観測プロファイルを示しているが、比較的低い高度(15~20km)で非球形粒子主体のPSCsを検出しており、このような傾向(15-20kmでの偏光解消度の増加)は、1月後半から頻繁に見られるようになった。固体主体のエアロゾル層の出現には、固

体粒子の核生成率や粒子成長を促す source gas の量、及び粒子の履歴効果等が密接に関係していると考えられる。

本発表では、これまでのキャンペーンでの気球搭載型オプティカルパーティクルカウンタによる観測結果も踏まえて、固体粒子の核生成率や粒子過程についても議論する予定である。

1999/2000winter でPSCsを検出した代表的なプロファイル

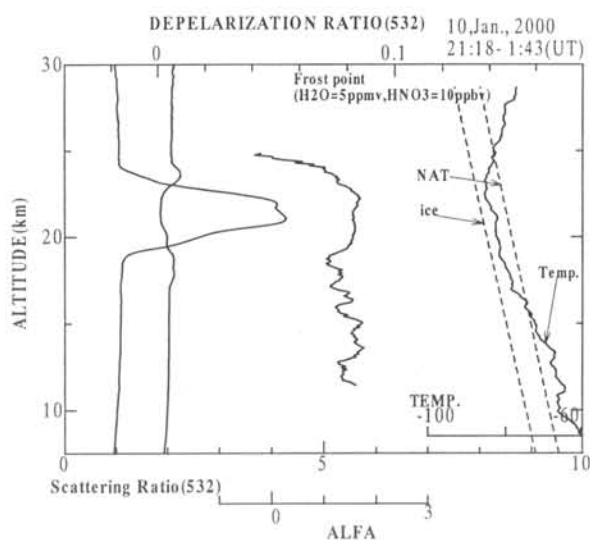


Fig.1

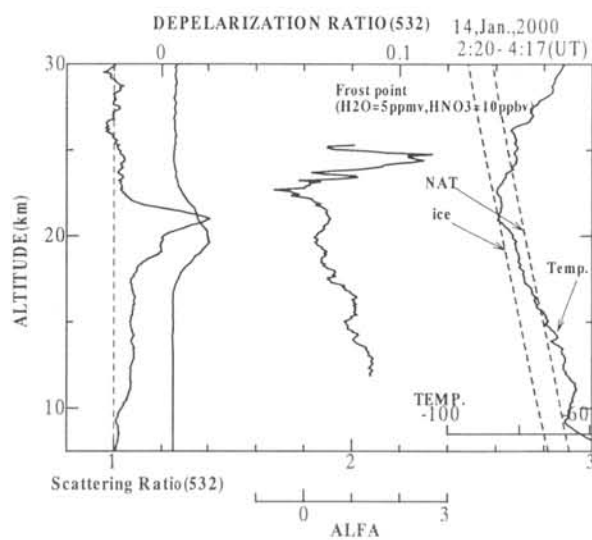


Fig.2

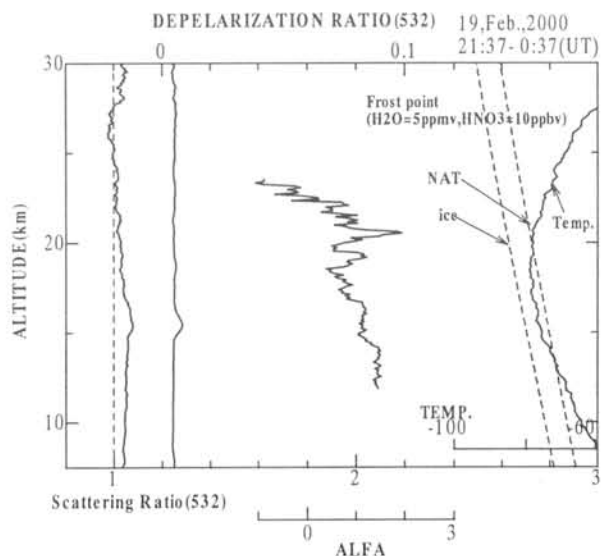


Fig.3

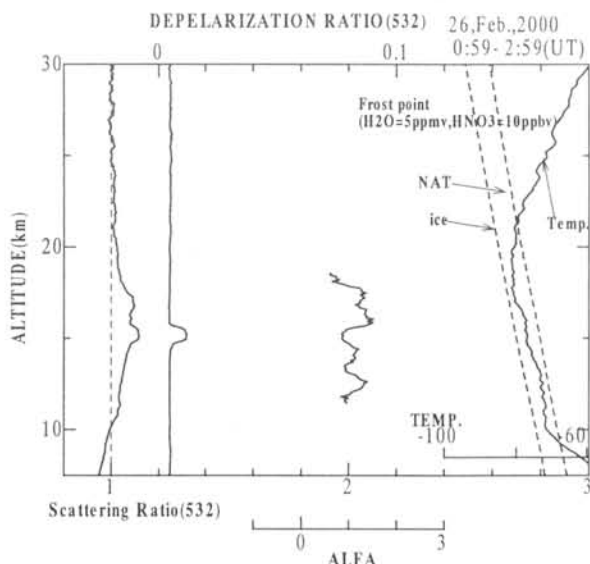


Fig.4

1990年代に南極上空でオゾン層破壊が進行するために必要な成層圏気温及び太陽高度角

忠鉢 繁 (気象研究所)

The stratospheric temperature and solar elevation angle region in the 1990s where ozone destruction progresses in the Antarctic.

S. Chubachi (Meteorological Research Institute)

In order for ozone to occur depletion resulting in the Antarctic ozone hole in the 1990s, lower temperature than 198K and higher solar elevation angle than 4.8 degrees are required. The seasonal change of the latitudinal region that meets this condition well agrees with the ozone-decreasing region observed by TOMS.

1. はじめに

南極オゾンホールは、南半球の春期に南極上空に発生し、9月から10月にかけて最大に達し、南半球の夏期に一旦消滅する。そして翌年の春期に再び発生する。

春期のオゾンホール形成期のオゾン分子の破壊速度は、大気中の活性塩素濃度、成層圏の気温、日光の強さの関数として示されると考えられる。

オゾンホールの年々の発達、大気中の塩素濃度の増加に起因する。大気中有効塩素濃度は、1970年代の約1ppbから1980年頃には2ppbに増加し、2000年頃には約3.3ppbに達している。しかし1980年代後半から増加速度は減少し、1990年代の平均有効塩素濃度は約3.3ppbで第一近似では一定と考えられる。この有効塩素濃度一定という条件の下では、オゾン層の破壊速度は成層圏気温と日光の強さだけの関数となる。本論文では、オゾンホール形成期のオゾン分子の破壊速度季節変動に対する太陽高度角と成層圏気温の効果を議論する。

2. オゾンホールの形成条件

南緯54.23度のマランビオ基地のオゾンゾンデ観測から求めた70hPaの平均気温は180-230通日で約-78℃であり最低気温は-85℃に達する。この条件の下ではPSCの生成は可能である。また同基地のオゾンゾンデ観測から、70hPaのオゾン分圧は200通日付近から減少が始まっている。この頃の太陽赤緯は20.9度であり、マランビオ基地における太陽高度角は4.8度となる。不均一相化学反応による活性塩素の蓄積がすでに行われていたとすると、上記の観測事実から、南極上空におけるオゾン破壊につながる光化学反応は太陽高度角4.8度以下では起こらないことが推定される。なぜならば、マランビオ基地は、冬至でも南中

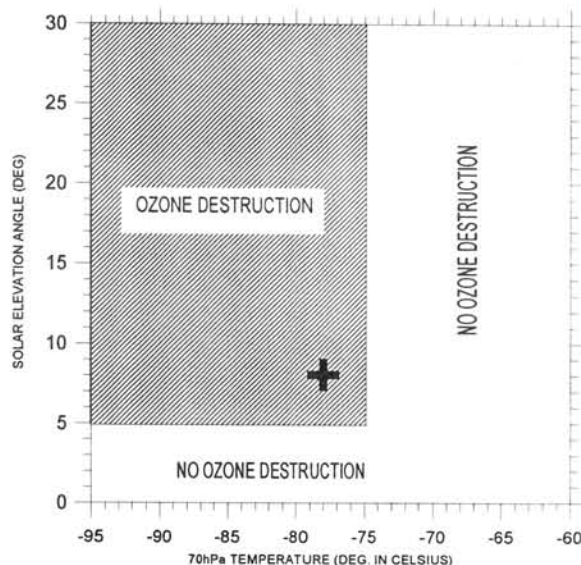


図1 オゾンの破壊が起こると推定される70hPa気温(横軸)及び太陽高度角(縦軸)の範囲。図中の(+)は1997年3月の北極の気温及び太陽高度角を示す。

時に太陽は2.3度の高度角を持ち、この条件では活性塩素によるオゾン破壊の連鎖反応が起こるには日射強度が不十分であることが示される。より低緯度ではより高い太陽高度角)が得られるが、成層圏気温がより高くなり、PSCの発生が困難になり、オゾン全量の減少が抑えられる。オゾン破壊が起こる最高気温としては、南緯60度では6-8月にかけて大規模なオゾン減少が発生していないことなどから、緯度平均の気温が-75℃(198K)と推定した。図1に光化学によるオゾン破壊が起こると考えられる太陽高度角4.8度以上、気温198K以下の領域を示す。図中の×印は、北極域にオゾンホ

ール類似のオゾン全量の減少領域が出現した1997年3月の北緯80度の緯度平均気温、および太陽高度角(70hPa 気温; 195° K (-78℃)、3月15日の太陽高度角; 約8度)を示すが、上記範囲内にあり、この年は北極域でもオゾン破壊反応が進行していたことが推定される。

上記の仮定に基づき、活発なオゾン破壊が起こっている領域を推定した。この領域は太陽高度角が4.8度以下、緯度平均した気温が198 K以下を満たす領域として推定した(第2図)。本図から、南極空のオゾン破壊が起こっていると推定される緯度領域は、7月中旬に南緯64°付近で始まり、次第に高緯度へ移動し、10月下旬には消滅することがわかる。この緯度領域の季節変化は1991-1999年のTOMSにより観測された平均のオゾン全量の季節変化を定性的に説明できる。図3に1991-1999年の日々の緯度平均したオゾン全量の季節変化を示す。南極オゾンホールに伴うオゾン全量の減少領域が極夜域の外側に広がっていること、この減少領域が第2図に示された気温と太陽高度角から推定された緯度領域と定性的に一致していることがわかる。

3. 結論

1990年代においては、オゾンホールの形成のためには、おおむね198 K以下の(緯度平均の)70hPa 気温と、4.8度以上の太陽高度角が必要ながわかる。この条件を満たす緯度領域の季節変化は、TOMSにより観測されたオゾン全量の減少域の季節変化と定性的に一致する。

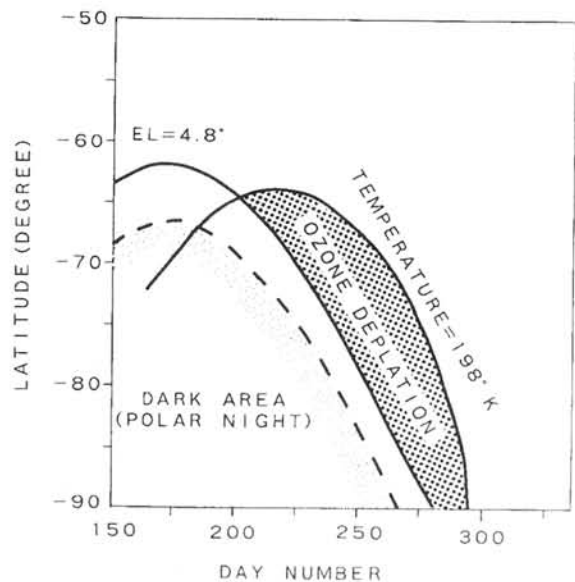


図2 1990年代においてオゾンの破壊が進行したと考えられる緯度帯の季節変化。

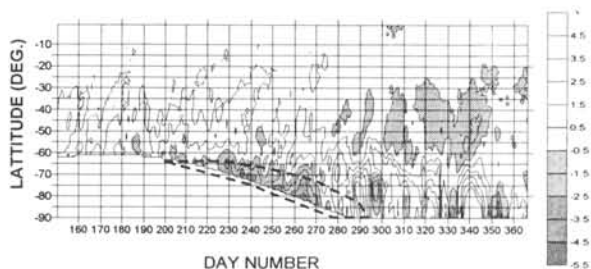


図3 1991-1999年の日々の緯度平均したオゾン全量の季節変化を、図2に示した気温と太陽高度角から推定されたオゾン全量の減少領域(波線で囲まれた領域)を重ね合わせて示す。

ニオールスンでの降雪粒子の現地観測

佐藤昇 (大阪府教育センター)・梶川正弘 (秋田大・資源)・小西啓之 (大阪教育大)・遊馬芳雄 (北大・理)・和田誠 (極地研)・塩原匡貴 (極地研)・山内恭 (極地研)

Observation of snow particles in Ny-Ålesund, Svalbard

Sato N.(Sci. Educ. Inst. of Osaka Prefecture), Kajikawa M.(Akita Univ.), Konishi H.(Osaka Kyoiku Univ.), Asuma Y.(Hokkaido Univ.), Wada M.(NIPR), Shiobara M. (NIPR), Yamanouchi T.(NIPR)

Observations were carried out on snow particles in Ny-Ålesund, Svalbard in January and February, 2000. Predominant shapes of snow crystals were crossed plates and combination of bullets in the first half of observation period and snowflakes of rimed dendrite type crystals in the latter half of observation period.

はじめに 文部省科学研究費「北極対流圏・成層圏物質の変動と気候影響 (研究代表者: 山内恭)」の研究観測の一環として、スバルバル諸島ニオールスンで2000年1月～2月にかけて降雪粒子の地上観測を行った。

雪結晶の観測は顕微鏡写真と雪結晶レプリカでおこなった。また、氷晶核の数濃度の時間変化を調べるためにエアロゾルを1日2回メンブランフィルターにサンプリングした。他の降雪に関するデータとして、電子天秤による降水強度の観測、鉛直レーダにレーダ反射強度、POSSによる降水粒子の粒径分布・反射強度の観測も同時に行われた。

ここでは、観測期間後半の1月25日から2月23日の降雪について主に報告する。

降雪時の気象状況 現地時刻15時の地上気温、地上気圧の時間変化を図1に示す。気温は平均すると-10℃前後であった。降雪が数時間続いた降雪イベントを図1に矢印で示した。天気図や衛星画像を見ると、相対的に降雪量の多いケースは、低気圧の接近に伴う降雪雲からの降雪であった。また、降水エコーが上空に現れる

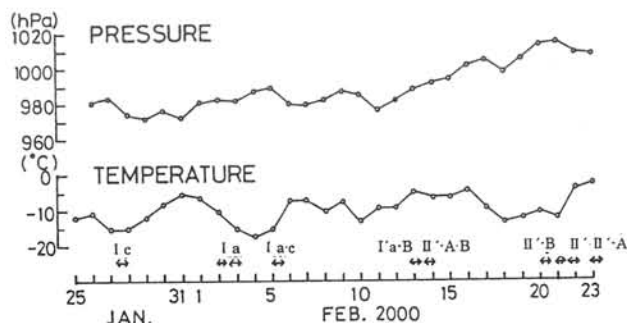


図1 地上気圧・気温の時系列と降水イベント

ものの降雪が地上に到達しない例が多く見られた(Asuma et al., 1999)。

結晶形による降雪の分類 降雪時に卓越した結晶形を図2に示すように分類した。-20℃付近の気温を境界として低温側側の結晶(I)と高温側側の結晶(II)に分け、さらに雲粒付きかどうか(I'、II')に分けた。Iは主として多結晶雪結晶でa 交差角板・低温型雪結晶(かもめ型)、b 砲弾集合・低温型雪結晶(extended prism、ゴヘイ型)、c 砲弾集合がそれぞれ卓越するタイプである。sは単結晶の角柱が卓越するタイプである。IIは樹枝状、立体樹枝、放射樹枝など板状結晶が卓越するタイプである。また、アラレ(A)や雪片(B)が卓越して観測されたかどうかにも注目した。それぞれの降雪イベントごとに卓越した結晶形のタイプを図1に書き加えた。観測期間の前半は交差角板や砲弾集合、低温型結晶が卓越して観測されるケースが多く、後半は雲粒付きの樹枝状の雪片が卓越して観測されるケースが多かった。

AIR TEMPERATURE			
→ ~20℃			
non-rimed	I	a	crossed plates combination of columns and plates (seagull type)
		b	combination of bullets combination of columns and plates (Gohei twins type)
		c	combination of bullets
		s	columns
		II	dendrite spatial assemblage of plates radiation assemblage of plates
rimed	I'	a	crossed plates combination of columns and plates (seagull type)
		b	combination of bullets combination of columns and plates (Gohei twins type)
		c	combination of bullets
		s	columns
		II'	dendrite spatial assemblage of plates radiation assemblage of plates

A: graupel B: snowflake

図2 卓越する結晶形の分類

Ny-Ålesund で観測された北極域の「きれいな」大気中で形成された降雪

小西啓之(大阪教育大)、和田誠(極地研)

Snow particles formed in Arctic clean air observed at Ny-Ålesund
H. Konishi(Osaka Kyoiku Univ.) and M. Wada (NIPR)

Origin of precipitation at Ny-Ålesund in winter was investigated by using the data of 1998 and 1999. The clouds were divided into 2 types. One came from Arctic region with the small number of aerosol, the other came from middle latitude with the large number of aerosol. The frequencies of the clouds were counted.

はじめに

極域特有の降雪粒子の一つであると考えられる大雲粒付き雪結晶の形成過程についてこれまで調べてきた(昨年のシンポジウム要旨参照)。その結果、このような粒子は、凍結核や凝結核の少ない(エアロゾル数が少ない)条件下で形成されることがわかった。今回は、このようなエアロゾル数の少ない極域特有の雲の特徴、出現頻度について報告する。

用いたデータ

北極域 Ny-Ålesund で観測した 1997 年 12 月～1998 年 3 月と 1998 年 12 月～1999 年 3 月の二冬のデータを用いた。降雪雲の実態は垂直レーダーのデータ(高度 6.4km までの)を用い、光学式粒子数計(OPC)で測定したエアロゾル数と、客観解析データから求めた雲の移動経路で降雪雲の特徴を分類した。

解析結果

極域特有の降雪粒子として大雲粒付き雪結晶を例にして、このような雪が観測された状況と普通の雲粒が付着した雪結晶が観測された状況を比較した。図 1～3 は、それぞれ垂直レーダーエコーの時間高度断面、エアロゾル数の時間変化、空気塊の移動経路で、左側が 100 μm 以上の大雲粒付き雪結晶が観測された 1999 年 1 月 28 日、右側が 30 μm 程度の普通の雲粒付き雪結晶が観測された 1998 年 3 月 11 日の例である。

図 1 のレーダーエコーから見ると層状性と対流性の差はあるが、どちらの例もエコー頂高度が 3km 以下の低い雲であることがわかる。しかし、このときに測定した地上のエアロゾル数(図 2)を比較すると左側の例のほうが 1 桁程度少ないことがわかる。たとえば 0.3 μm 以上の粒子数は、左側の例では 11 中に 1000 個であるのに対し、右側の例では 10000 個となっている。このようなエアロゾル数の差が雲粒の大きさの差になっていると考えられる。

次にこれらの雲の進行経路を客観解析データを用いて調べた。図 3 は、雲の上層と中層に対応する高度 700hPa と 850hPa の 2 日前までさかのぼった経路である。これらの経路からエアロゾル数の少ないきれいな大気は西方のグリーンランドから運ばれたものであるのに対し、エアロゾル数の多い大気は中緯度から運ばれたことがわかる。

発表では Ny-Ålesund にもたらされた降水が、これらのいずれのタイプであったかを頻度別に示す予定である。

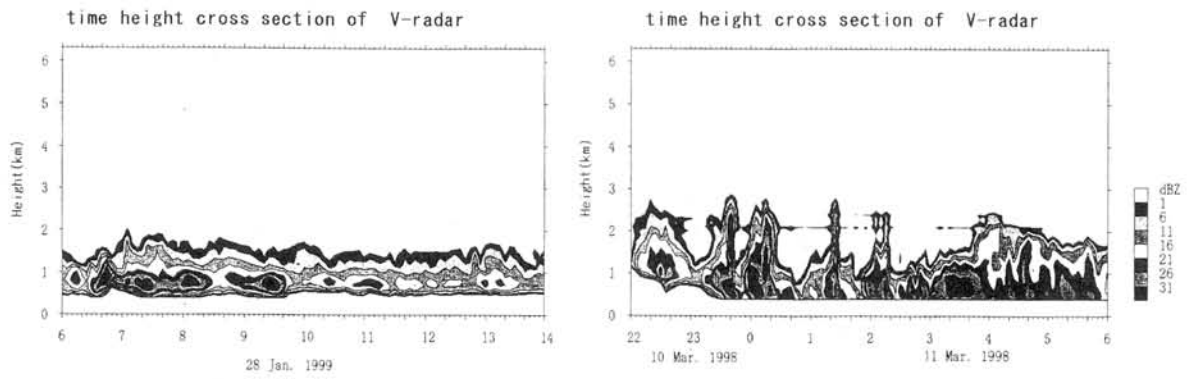


図 1. 垂直レーダーの時間高度断面(左側：1999 年 1 月 28 日、右：1998 年 3 月 11 日)

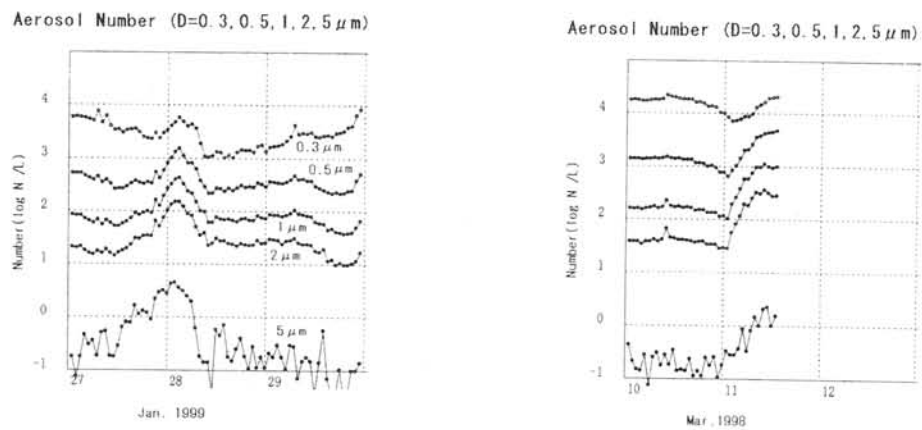


図 2. 地上エアロゾル数の時間変化(左側：1999 年 1 月 28 日、右：1998 年 3 月 11 日)

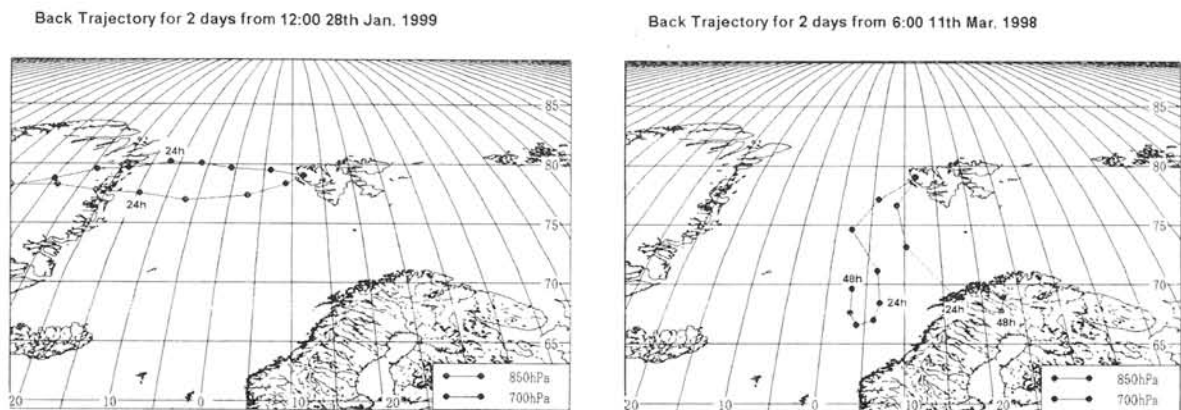


図 3. 降雪をもたらしたと考えられる空気塊の 2 日間の移動経路
(左側：1999 年 1 月 28 日、右：1998 年 3 月 11 日)

ノルウェー・ベアーアイランドでのレーダー観測

遊馬芳雄（北大院理）・梶川正弘（秋田大学工学資源）

早坂忠裕（東北大院理）・Helge Tangen（ノルウェー気象局）

Radar observations at Bear Island, Norway

Y.Asuma(Hokkaido University), M.Kajikawa(Akita University)

T.Hayasaka(Tohoku University) and H.Tangen(Norwegian Meteorological Institute)

Vertical pointing Doppler radar observations had been carried out from 4 October 1999 to 17 June 2000 at Bear Island weather station, Norway. The purpose of this field experiment is better understanding of the weather systems including the low pressure systems and polar lows in this region and seasonal variations of their activities. The water transportation associated with these Arctic disturbances is also main target of this field research. This is a preliminary report for the experiment and several characteristic features for the Arctic storms will be shown in this presentation.

1. はじめに

ノルウェー海周辺での低気圧やポーラーローをはじめとする極域気象擾乱の発達過程や構造、季節変動、水循環等を調べるために、ノルウェー・ベアーアイランド(Bjørnøya)（北緯 74 度 30 分、東経 19 度 01 分）に X バンド鉛直ドップラーレーダー、マイクロ波放射計、放射計を設置し、1999 年 10 月 4 日から 2000 年 6 月 17 日までの約 8 カ月半のデータを取得することができた。観測機器は島の北岸に位置するノルウェー気象局の測候所に設置し、オペレーションはノルウェー気象局に依頼した。

2. 観測結果

ベアーアイランドでのレーダーエコーの観測例を図 1、2 に示した。図中上段が反射強度、下段が鉛直ドップラー速度である。図 1 が 1999 年 10 月 5 日、図 2 が 2000 年 3 月 17 日に観測されたエコーで共に低気圧に付随した前線の通過による降水エコーであった。エコーははじめ高度 4-5km の上層に現れ、後半地上にまで達している。図 1 のケースでは 14 時以降地上付近は降雪から降雨に変わり、高度約 1.8km 付近にプライトバンドと落下速度の速い領域が見られる。

次に、降水エコーの季節変化を調べるために、10dBZ 以上のエコーの時間出現頻度(%)を図 3 に示した。10 月から 1 月にかけてエコーの出現頻度が高く比較的上層にまで出現

している。2 月中旬から 5 月末にかけては出現頻度が減少し、5 月から 6 月にかけて再び頻度が高くなっている。ノルウェー気象局によるベアーアイランドでの気温、海表面温度、降水強度をそれぞれ図 4～6 に示した。気温（図 4）は寒暖の差が大きく、概して 2-3 月に気温が低く、3 月末に気温は -18.8℃にまで達している。海表面温度（図 5）は 10 月から減少し、1 月末から 4 月末まで -1.7℃ではほぼ一定値を示しその後上昇している。これは 1 月末から 5 月末まで海面が結氷していたことを示唆し、この間エコーの出現頻度は減少している。しかしながら、図 6 より降水強度（量）は海面が結氷している期間でも必ずしも減少していない。これは降水の多くが低気圧等の気象擾乱に伴ってもたらされ、さらに、ベアーアイランドが海面が結氷しない open water の近くに位置していることとも関連があると考えられる。

これまで、ニーオルセンでのレーダーエコーの出現頻度分布は 1994 年 4 月から 1995 年 3 月までの 1 年間を対象として荻谷等によって調べられ、明白な季節変化があることが報告されている（第 20 回極域気水圏シンポジウム PI-12）。図 3 のエコーの出現頻度は open water の領域に近いベアーアイランドはニーオルセンとはかなり出現特性が異なっていることを示している。

3. まとめ

1999年10月から2000年6月にかけてノルウェー・ベアーアイランドに鉛直ドップラーレーダー、マイクロ波放射計等を設置し良好なデータを得ることができた。観測期間中のレーダーエコーの出現頻度を調べた結果、周囲の海表面が氷で覆われてしまうと出現頻度が減少する傾向が見られたが、降水量は

必ずしも減少していなかった。これは、降水の多くが低気圧等の気象擾乱に伴うもので、ベアーアイランドの位置が暖流による open water の領域の比較的近くに存在していることと関連があるようである。より極地方に位置するニーオルセンでのレーダーエコーの出現分布とはかなり異なることを示している。

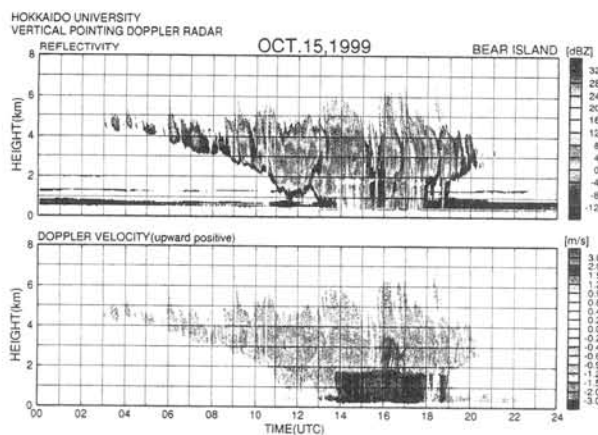


図1 1999年10月15日のレーダーエコー
上段：反射強度、下段：ドップラー速度
APPEARANCE FREQUENCY > 10dBZ (%)

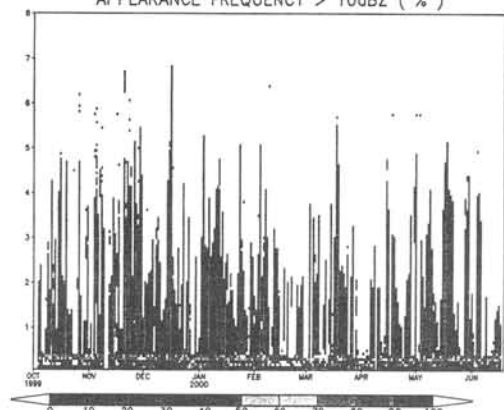


図3 10dBZ以上のレーダーエコーの出現時間頻度

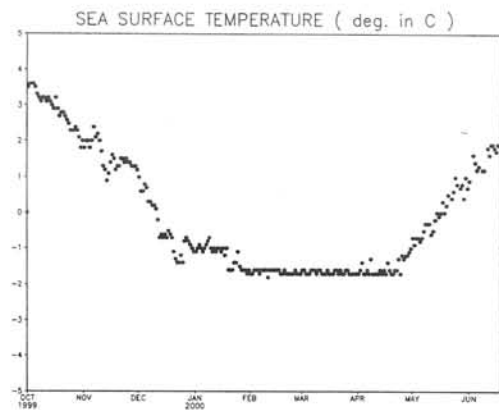


図5 ベアーアイランドでの海表面温度

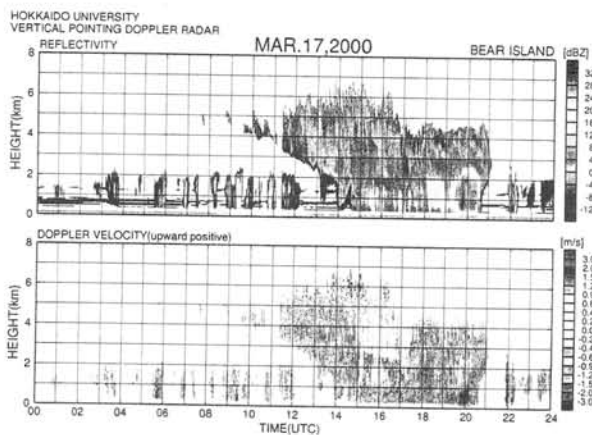


図2 2000年3月17日のレーダーエコー

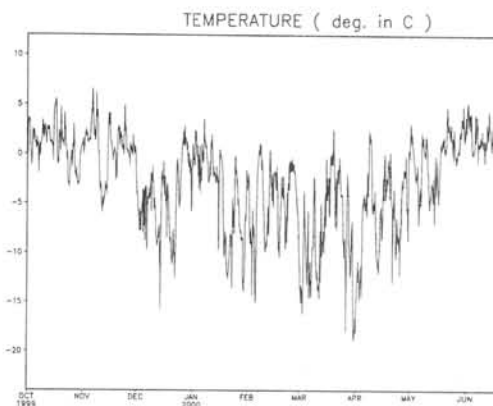


図4 ベアーアイランドでの気温変化

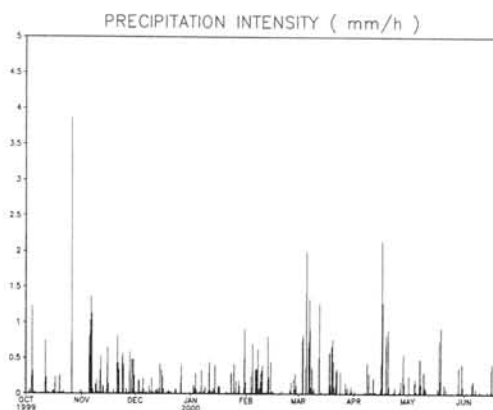


図6 ベアーアイランドでの降水強度

冬期の南極内陸の OLR 急増時の大気循環場と SMMR/Nimbus-7 による雪氷温度の変化

平沢尚彦 (極地研)、Surdyk, S. (北大低温研)、山内 恭 (極地研)

Atmospheric circulation and snow temperature distribution by SMMR/Nimbus-7 associated with abrupt increase in OLR field

Hirasawa, N.(NIPR), Surdyk, S.(Hokkaido Univ.), Yamanouchi, T.(NIPR)

We discussed about abrupt increase in Antarctic OLR at the 18th symposium. The increase appeared synchronized with a formation of anticyclonic circulation in the Antarctic. Here, the evolution of high frequency fluctuations in snow temperature derived from SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) brightness temperature on Nimbus-7, in the periods with abrupt increase are described.

1. はじめに

冬期南極域の OLR (Outgoing Longwave Radiation) が急激に増加することがある。この OLR 急増現象は、南極域での高気圧性循環の形成を伴っている。Enomoto et al.(1998)や Hirasawa et al.(2000)が議論したように、ブロッキング高気圧の縁辺部に沿って南極大陸内陸に低緯度側の暖湿大気が侵入することに関連していると思われる。

ここでは、暖湿大気の侵入の様子を調べる。内陸での大気観測点がほとんどないため、Nimbus-7 衛星に搭載された SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer)による輝度温度から作成した大陸域の積雪

温度分布の時間変化を作成した。

2. OLR の急増現象の概要と積雪温度分布

図 1 には、1983 年の東南極平均の OLR の変化を示す。5 月下旬、6 月下旬、9 月中旬に OLR の急増が見られる。6 月下旬には 135E 付近に軸を持つ高気圧性循環が南極大陸内陸にまで現れている (図 2)。図 3 は SMMR/Nimbus-7 から得られた 6 月 26 日の積雪温度の短周期変動成分の分布を示す。図中の破線内が比較的高温であり、矢印先端の 2 領域が特に顕著である。高気圧縁辺部に対応した大陸上での昇温が顕著である。

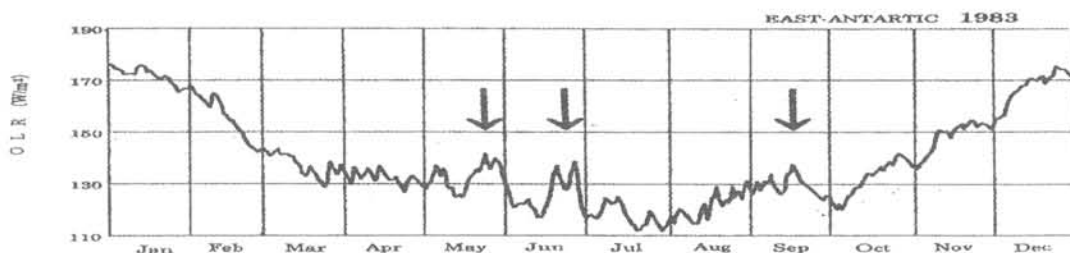


図 1 1983 年冬期の東南極域平均の OLR 時系列。



図 2 1983 年 6 月 26-30 日の平均の 500hPa 高度場。

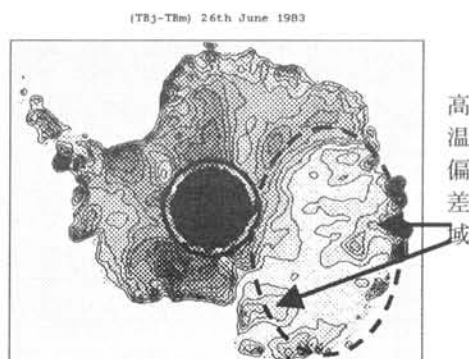


図 3 1983 年 6 月 26 日の積雪温度の短周期変動成分 (SMMR/Nimbus-7 より)。

南極内陸晴天域における NOAA14-AVHRR データの見込み角及び、温度依存性の評価

門崎 学 (総合研究大学院大学)、山内 恭・平沢 尚彦 (総合研究大学院大学・国立極地研究所)

The Evaluation of the Dependence on the Viewing Angle and Temperature of NOAA14-AVHRR Data in Clear Area in the Antarctic Inland

G. Kadosaki (The Graduate University for Advanced Studies),
T. Yamanouchi and N. Hirasawa (The Graduate University for Advanced Studies, NIPR)

Method to detect cloud cover in the Antarctic during polar night using only infrared AVHRR data is still in controversy. Before turning to this work by newer satellite, we must clarify the dependence of temperature difference between channels 4 and 5 on the viewing angle and the surface temperature. We are now in a position to say that the dependence both on the viewing angle and surface temperature cannot be ignore, even if it was processed with the NOAA's calibration.

1. はじめに

現在、雲と海水・氷床が混在する南極域でこれらを衛星画像から分類することは難しい。特に極夜では可視光域や近赤外域の衛星観測データの解析は非常に困難である。この問題を解決するために赤外域の分割ウィンドウチャンネルの僅かな輝度温度差から雲の検出を行う方法が考案されている。観測対象を捉えるセンサの見込み角については、過去にデータとの関係を調査した研究 (Yamanouchi et al. 1987) があり (NOAA7)、加えて観測対象が雲のない雪氷面であっても、その温度によって輝度温度差が変化することも報告されている。本研究では、NOAA-13 より導入された新方式のキャリブレーション処理後に残るセンサの見込み角依存性と輝度温度差の観測対象温度依存性を評価する必要があると考え、統計的に再検証した。

2. データ解析

昭和基地で受信した極軌道衛星 NOAA の AVHRR データから比較的にエラーが少ない 14 号のデータを使用した。広い領域で晴天域が広がっており、雪氷面が確認できる領域を抽出し、赤外域にあたるチャンネル 4 ($10.8 \mu\text{m}$)・5 ($12.0 \mu\text{m}$) をデータ解析に用いた。データ量の縮小とキャリブレーション後のステア化を防ぐために 4 画素ごとに 1 つの割合でピックアップしたデータをさらに 4×4 画素で平均化した。見込み角依存を調査するために、チャンネル 4 の観測温度を 5° ごとに区切り (衛星直下: 0° 、最端: 55°)、その範囲のチャンネル 4・5 の輝度温度差を平均し、その値を衛星見込み角に沿って求めた分布を図 1 に示す。なお、それぞれ $-80^\circ\text{C} \sim -85^\circ\text{C}$: 97/8/31、 $-60^\circ\text{C} \sim -80^\circ\text{C}$: 97/6/3、 $-45^\circ\text{C} \sim -60^\circ\text{C}$: 97/10/20、 $-20^\circ\text{C} \sim -45^\circ\text{C}$: 97/11/19 に対応するデータを使用した。また、見込み角による温度依存性の検証のため、見込み角ごとにチャンネル 4・5 の輝度温度差を雪氷面温度に沿って求めた分布を図 2 に示す。データは上の日付に 97/5/6 を追加したデータセットの全温度範囲において平均化せずに使用した。

3. 結果

図 1 より衛星直下点から見込み角が増えるに従って (画像の端になるほど)、チャンネル 4・5 の輝度温度差が大きくなっており、Yamanouchi et al. (1987) の結果に比べて増加幅は小さい。観測対象の温度別では明確な違いは確

認できなかった。観測対象の温度依存に関しては図 2 より約 -80°C の極低温域で輝度温度差が 0°C を示し、グラフで確認できる約 -25°C までは約 1.5°C に止まる差が広がることを認められた。 $-40^\circ\text{C} \sim -25^\circ\text{C}$ にかけて輝度温度差の急激な拡大も見られる。見込み角による違いはほとんど検出できない。これらのことより、NOAA-14 のキャリブレーション処理後も観測対象の温度依存は確実に存在しており、 $-85^\circ\text{C} \sim -25^\circ\text{C}$ にかけて、輝度温度差が最大 1.5°C (約 2%) に広がることを明確にした。

—参考文献—

T. Yamanouchi, K. Suzuki, and S. Kawaguchi. 1987. Detection of clouds in Antarctica from infrared multispectral data of AVHRR. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 65, 949-962.

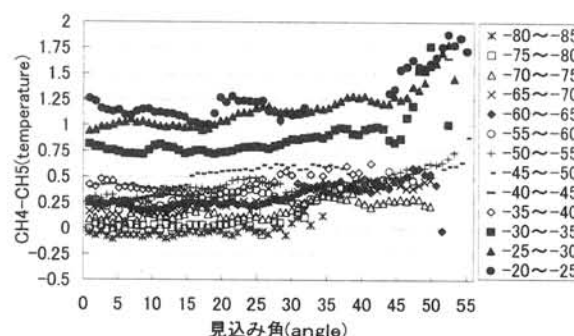


図 1 CH4-CH5 の見込み角依存 ($-20 \sim -80^\circ\text{C}$)

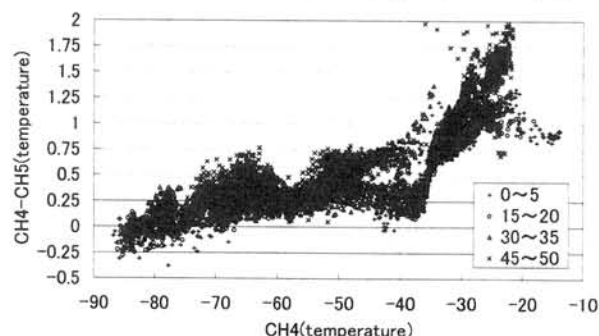


図 2 CH4-CH5 の雪氷上温度依存 ($0 \sim 50^\circ$)

南極氷床における無人気象観測（1999 年）

高橋修平・亀田貴雄・榎本浩之（北見工業大学）、古川晶雄・本山秀明・
渡邊興亜（国立極地研）、松岡健一（北大低温研）

AWS observations on the Antarctic ice sheet by JARE during 1999

S. Takahashi, T. Kameda, H. Enomoto, T. Furukawa, H. Motoyama,
O. Watanabe and K. Matsuoka

The Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) has set up Automatic Weather Station (AWS) at six sites between Syowa station and Dome Fuji Station since 1993. Air temperature, wind speed, wind direction, surface height variation and snow temperature has been measured at Dome Fuji Station and air temperature at other sites. In temperature profiles at six sites, warm events in winter and early summer (November 3 – 7, 1999) are clearly seen. Surface snow height variation at Dome Fuji was measured with 10mm interval by using solar-photo sensors. It was found that snow accumulates 140mm from December 27, 1998 to November 30, 1999, and the amount of 90mm snow was accumulated from April 16 to 17. Air temperature raised to 6°C after the snow accumulation.

1. 無人気象

南極ドームふじ深層掘削計画の一環として、堆積環境等を研究目的とした無人気象観測が 1993(JARE34)から 1999 (JARE40) まで実施されてきた。今回は、1999 年(JARE40)の観測結果を主に報告する。

2. 観測項目

1999 年の観測項目を地点別に以下にまとめる。

地点名	要素
H21	Ta, Sh
Mizuho	Ta
MD180	Ta
Relay Point (MD364)	Ta
MD550	Ta
Dome Fuji Station	Ta, Ws, Wd, Ts, Sh

Ta: 気温、Sh: 積雪深、Ws: 風速、Wd: 風向、Ts: 雪温

3. 観測結果

図 1 にドームふじ観測拠点での積雪深の測定結果を示す。これは、雪面に設置した 1cm 毎のフォトダイオードにより雪面を測定しており、太陽が出ていない冬期間は欠測となっている。図 1 より 98 年 12 月 27 日から 99 年 12 月 2 日までに雪が 140mm 積もったことがわかる。これは、近くに設置した 36 本雪尺の平均値 ($97 \pm 63\text{mm}$) の標準偏差内なので、妥当な値と考えられる。また、図 1 では 4 月 16~17 日で積雪深が 90mm 増加していることが特徴である。この期間の積雪深および気温の変動を図 2 に示す。この期間、日平均気温が約 6°C 上昇しており、暖気の侵入とともに雪が積もったことがわかった。

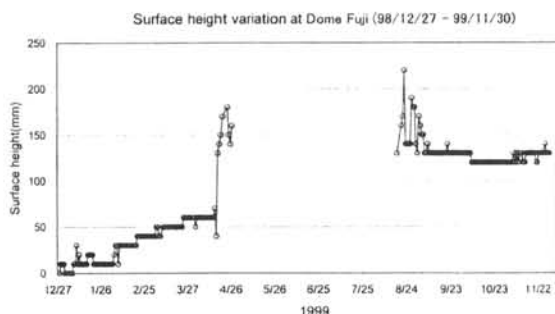


図 1 ドームふじ観測拠点での積雪深(mm)
(1998 年 12 月 27 日を 0 とする)

図 3 に気温の測定結果を示す。これまで明らかにされてきた冬季の昇温イベントに加えて、初夏にも昇温が観測された。

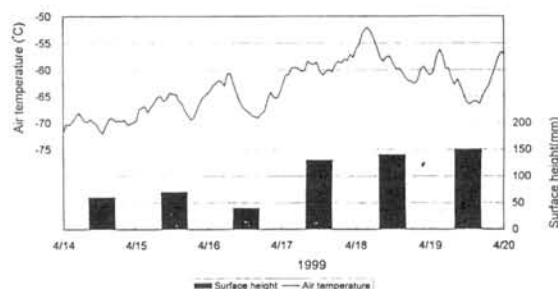


図 2 積雪深と気温との関係（1999 年 4 月 14~19 日）

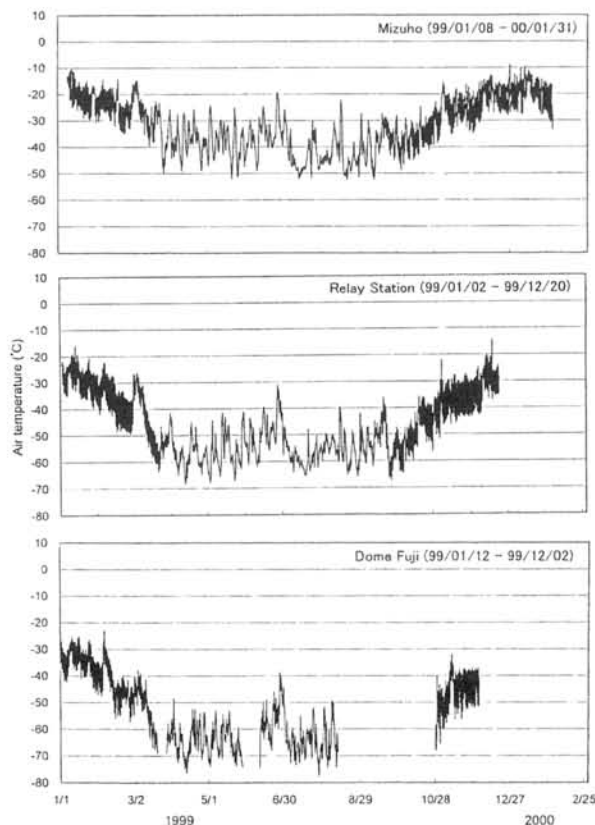


図 3 沿岸から内陸までの気温（一部欠測を含む）

南極昭和基地における UV-B の特徴

青木輝夫、青木忠生、深堀正志（気象研究所）、高尾俊則（気象庁大気環境観測所）

Characteristics of UV-B irradiance at Syowa Station, Antarctica

Te. Aoki, Ta Aoki, M. Fukabori (Meteorological Research Institute) and

T. Takao (Atmospheric Environment Observatory)

The effects of ozone amount, cloud cover, surface condition and solar zenith angle on UV-B irradiance were investigated by comparing the measured UV-B irradiance at Syowa Station (69° 00' S, 39° 35' E), Antarctica with the theoretical ones using ARTMASS (Advanced Radiative Transfer Model for the Atmosphere-Snow System). The maximum value of UV-B irradiance was not observed in December with maximum solar elevation, but at the end of ozone hole in November. The effect of cloud cover on UV-B was found to be weak due to the multiple reflection effect between high albedo snow surface and cloud cover.

1. はじめに

オゾン層の破壊に伴い、有害紫外線(UV-B: 290-315 nm)の増加が懸念されているが、南極昭和基地の観測でも、オゾンホール出現時には中低緯度の夏季に匹敵する UV-B が観測されている。紫外域日射量に影響を与える要素は、オゾン以外に地表アルベド、雲、エアロゾルなどがある。これらの効果を 1996 年の観測データと大気-積雪系の多重散乱モデル ARTMASS (Advanced Radiative Transfer Model for the Atmosphere-Snow System)を用いて調べた。

2. モデルの概要と計算条件

積雪アルベドは積雪粒子による 1 次散乱を Mie 理論により、大気-積雪系の多重散乱を doubling and adding 法によって計算する。太陽天頂角が大きいときでも、精度が維持できるよう全大気層の各 adding 過程及び大気と地表面の adding 時に太陽直達光に対して、球面・屈折大気補正を行う（疑似球面大気）。積雪には粒径 200 μ m、不純物なしと仮定した。大気モデルは Subarctic Winter、厚さ 120km、49 層、オゾンの鉛直分布は典型的なオゾンゾンデの観測値に基づいた。

3. UV-B の季節変化と雲の影響

図 1 は昭和基地における 1996 年のオゾン全量と UV-B の季節変化である。UV-B の最大値は太陽天頂角が最も小さな夏期ではなく、オ

ゾンホールの終息直前の 11 月上旬に現れている。このときの UV-B の値は中低緯度の夏季の UV-B に匹敵する大きさである。

図 2 は雲量と UV-B の関係を 1 年分のデータに対して見たものである。大きな傾向としては雲量 0/10 と 10/10 の 2 つの部分に UV-B のピークがある。直感的には雲量の増加と共に UV-B が減少することが予想されるが、雲量 8/10 以上で増加している。この理由は光学的に薄い雲とアルベドの高い雪面の間での多重反射により UV-B の減少が抑制されているためと考えられる。

雲の影響を調べるため、ARTMASS によって UV-B を計算した（図 3）。比較のため海面上での値を計算した。晴天時に対して曇天時には UV-B は低下しているが、海面上に比べ雪面での低下は遙かに少ない。これは上に述べた雲と雪面の間での多重反射による効果である。

図 4 は UV-B のオゾン全量依存性で、(a)晴天時、(b)全データをプロットしている。直線及び破線で示した理論計算では雲の影響は少なく見積もられている。一方、2 つの図を比較することにより、観測値における雲の影響を見ることができ、(b)全データが(a)晴天時よりも特に低く現れている訳ではなく、やはり観測からも雲の効果が少ないことが理解できる。昭和基地において、UV-B に対して雲の影響が少ない原因は、上に述べた多重反射以外に、光学的に薄い雲の出現頻度が低いことも一因であろう。

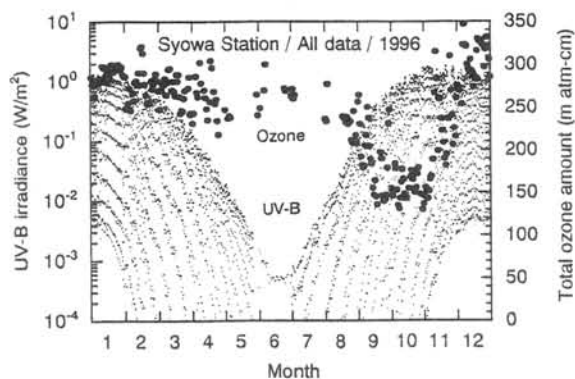


図1 南極昭和基地における 1996 年のオゾン全量と UV-B の季節変化。

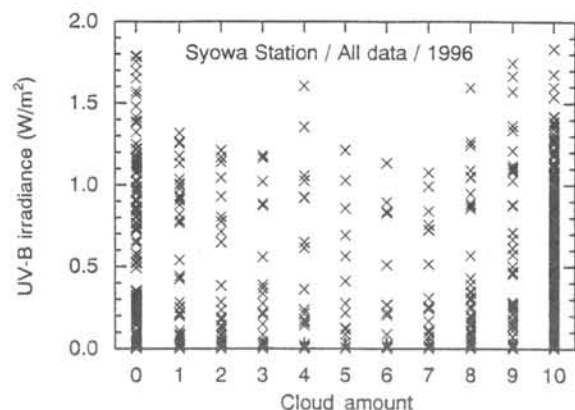


図2 南極昭和基地における 1996 年の雲量と UV-B の関係。

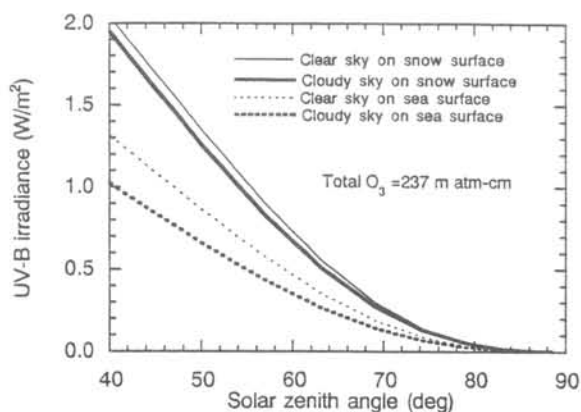


図3 理論計算による雪面及び海上における晴天時と曇天時の UV-B の太陽天頂角依存性。雲は水雲で光学的厚さは波長 $0.5\mu\text{m}$ で 5、海面のアルベドは 0.05、オゾン全量は 237 m atm-cm 。

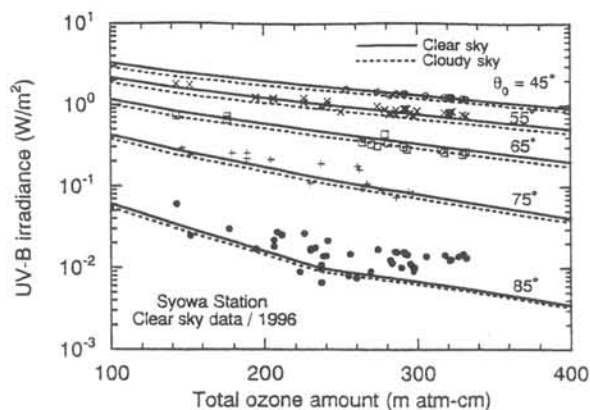


図 4a 快晴時における UV-B のオゾン全量依存性。実線は晴天時の計算値、破線は曇天時の計算値、記号は観測値。観測値は各太陽天頂角の前後 2 度の値を示す。

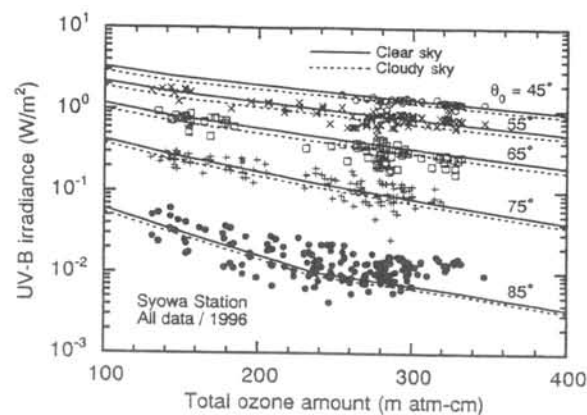


図 4b 図 4a に同じ、ただし、曇天を含む全データ。

アラスカ北極域における地表面放射収支の季節変化 佐藤 威(防災科所)・吉川謙二(アラスカ大)・佐藤篤司(防災科研)

Seasonal variation of radiation budget at the ground surface observed at the inland of Alaska

T. Sato (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention),

K. Yoshikawa (University of Alaska),

A. Sato (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention)

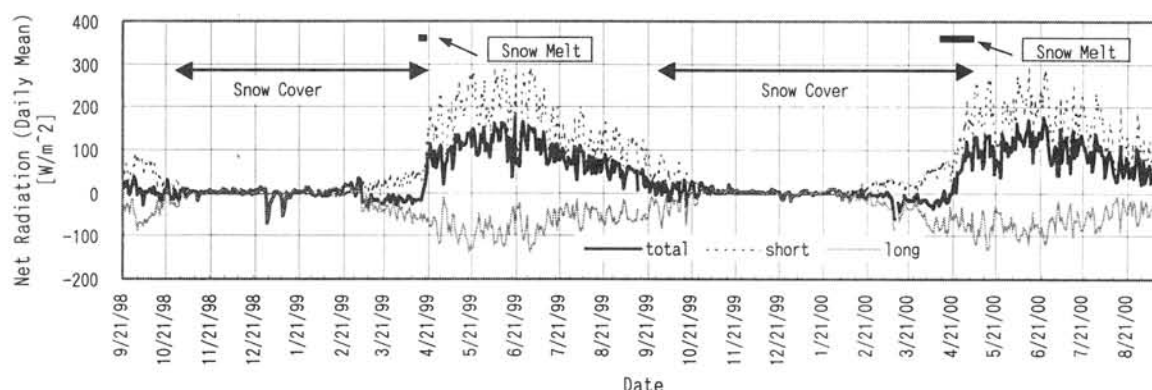
The downward and upward radiation fluxes (short wave and long wave) have been observed continuously at the inland of Alaska, where the ground surface is covered with shrub and moss. The surface albedo was about 0.8 or more throughout the midwinter and it decreased during the snow melt season. This leads to the rapid increase of the net short wave radiation. The net long wave radiation showed similar seasonal variations in the successive two years. The difference in the total net radiation between the two years was found around the snow melt season, which is caused by the difference in the net short wave radiation.

はじめに 北極域における水循環研究の一環として、アラスカ内陸部のツンドラ地域における大気と積雪・凍土の相互作用を明らかにするため、1997年夏より気象・積雪連続観測を継続するとともに、毎年3月に現地での積雪調査を実施してきた。ここでは、大気と地表面の熱交換を大きく左右する地表面におけるアルベドと放射収支の季節変化について報告する。

観測 米国アラスカ州フェアバンクス近郊のカリブー・ボーカー・クリーク試験流域に気象・積雪観測タワーを設置して観測を行っている。この流域は丘陵地で斜面には針葉樹と広葉樹が生えているが、観測点の周囲は平坦で小木やコケなどのツンドラ植生で覆われている。土壤水分は一年を通して多く、永久凍土が存在している。観測項目は、上・下向きの日射量と長波放射量のほか、気温、湿度、風速、積雪深などである。なお、下向き日射・長波放射センサーには送風装置が付いていないため、冠雪や着霜があると正しい測定ができないので、積雪期間中の測定値の信頼性は低い。

アルベドの季節変化 冬期間は氷点下の気温が継続し、積雪は寒冷変態により変化する。この間、アルベドは0.8前後以上を保っていたが、気温が上昇し融雪期になると、日毎にアルベドが低下した。積雪が無くなった直後のアルベドは0.1程度であったが、植生の生長とともに0.15まで上昇し、秋には再び0.1に戻った。

放射収支の季節変化 図1は1998年9月～2000年9月のほぼ2年間の正味放射量(日平均値)の変化である。98/99冬期は最大積雪深が36cm、積雪期間が180日で、翌99/00冬期は最大積雪深が87cm、積雪期間が223日と、冬期の積雪環境はこの2年間でかなり異なっていた。積雪の有無に影響される正味日射量は、積雪が早く無くなった98/99冬期では4月下旬に急増したが、99/00冬期では、これが5月上旬にずれ込んだ。夏期の正味日射量は2年間で大差なかった。また、正味長波放射量は2年間でほとんど同じ季節変化を示した。これらより、両者の和は、融雪期前後においてのみ年による違いが見られた。



Argentine Island における降水の同位体比の変動と ENSO との応答
 一柳錦平 (観測 F) ・沼口 敦 (観測 F/北大) ・加藤喜久雄 (名大)

Temporal variations of stable isotopes in precipitation at Argentine Island response to the El Niño-Southern Oscillation

K. Ichiyanagi (Frontier Observational Research System for Global Change),
 A. Numaguti (FORSGC/Hokkaido University), K. Kato (Nagoya University)

Time series of stable isotopes in precipitation at Argentine Islands are strongly negative relations to the sea surface temperature in the equatorial Pacific. Using the NCEP/NCAR reanalysis data, seasonal composites in winter time are created for individual low and high $\delta^{18}\text{O}$ years occurring between 1964 and 95. Composite analysis of temperature and wind components at 850 hPa reveals that southerly wind and high temperature anomalies allow heavy isotopes in precipitation around the Antarctic Peninsula in La Niña events.

はじめに 本研究では, IAEA/WMO の GNIP データより, 南極における降水の安定同位体比の変動と ENSO の指標となる Nino3 の SST との間に負の相関が認められることを示し, NCEP/NCAR 再解析データを用いて考察する.

解析方法 Argentine Island (65.25S, 64.27W) における降水の $\delta^{18}\text{O}$ と Nino3 の SST 偏差の変化に負の相関を見つけたので報告する (図 1). 期間中の $\delta^{18}\text{O}$ が高い年と低い年の月平均値を求めた結果, $\delta^{18}\text{O}$ は冬季 (5-8 月) における差が大きい (図 2). 同様に, NCEP/NCAR 再解析データについて, 5-8 月の 850hPa の気温と風の偏差を求め, 南極半島付近の大気水収支解析を行った.

結果および考察 例として, $\delta^{18}\text{O}$ の高い年の気温と風の偏差を示す (図 3). 赤道付近には負の気温偏差が現れており, ラニーニャ状態を示している. また, 南極大陸の南米側では平年に比べて, 北風が強く気温が高い. 大気水収支の結果, 北西風による水蒸気輸送量は大きく異なるが, 海面からの蒸発量にはほとんど差が無い. 以上より, Argentine Island における降水の同位体比の変動は, 熱帯の SSTA の変化により大気循環場が変化したために, 気温と水蒸気輸送が変化したのが原因であると推定できる.

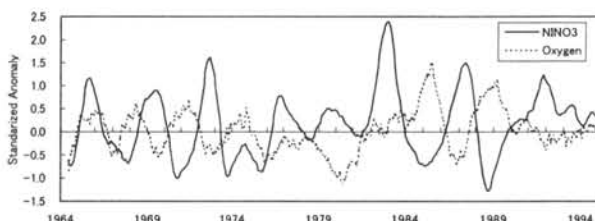


図 1 $\delta^{18}\text{O}$ と Nino3 の SSTA の長期変動

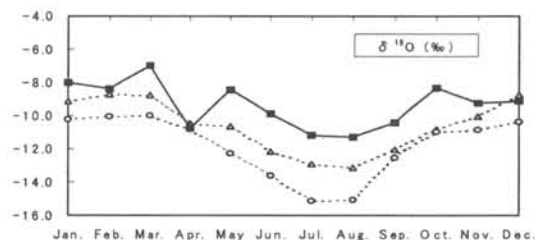


図 2 $\delta^{18}\text{O}$ 高い年と低い年の比較

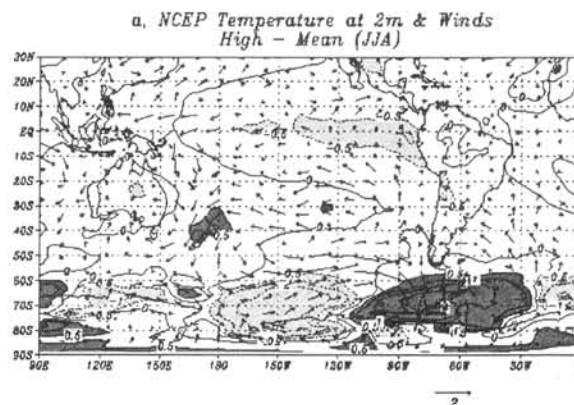


図 3 同位体が高い年の気温と風の偏差

シベリアにおける広域積雪の同位体比分布の特徴

栗田直幸（東工大・総理工）, 杉本 敦子（京大・生態研）, 一柳 錦平（地球観測F）,
沼口 敦（北大院・地球環境）

Variation of the Stable Isotopes of Snow over the Siberia

N. Kurita (Tokyo Institute of Technology), A. Sugimoto (Kyoto Univ.),

K. Ichiyanagi (Frontier Res.), A. Numaguti (Hokkaido Univ.)

In order to investigate the distribution of the characteristics and the stable isotopes of snow across the Eurasian continent, the snow sampling were observed at 8 stations include 3 sites in Siberia. The results obtained are summarized as follows; (1) The δD values of snow taken from 8 stations exhibit a large decrease going to the east station. (2) Isotopic jump is observed between Novosibirsk (55.01° N, 83.30° E) and Krasnoyarsk (55.57° N, 93.27° E). (3) Although the westerly wind supplies the water vapor, the snow accumulation is larger at western Siberia than at European region. (4) The maximum amount of snow observed at Novosibirsk.

はじめに

シベリア域の積雪面積の拡大・縮小は冬季のシベリア高気圧の発達に大きく関与するだけでなく、夏期のインドモンスーンにも影響をあたえることが近年の研究から指摘されており（Shukla, J and D.A. Mooley, 1987 など）、シベリア域における積雪パターンを支配している積雪の水蒸気起源を理解することは非常に重要である。水の起源推定を行う場合、その水の履歴によって値が変化する安定同位体比を用いた研究が過去多数行われており、さらにシベリアではその同位体比が大きく変化することが知られていることから、水蒸気起源を求めるのに安定同位体比が有用なツールになると考えられる。本研究ではシベリアにおける積雪の安定同位体比分布を明らかにすると共に、その結果からシベリア域における積雪の起源推定を行う事を目的としている。

サンプリング

2000年3月1日から3月14日までの2週間モスクワから東シベリアのヤクーツクまでシベリア鉄道を使ってユーラシア大陸を横断しながら積雪調査及び積雪サンプリングを行った。サンプリングは、Moskow（北緯55度、東経37度）、Srugut（北緯61度、東経74度）、Tumeny（北緯57度、東経66度）、Omsk（北緯54度、東経74度）、Novosibirsk（北緯55度、東経83度）、Krasnoyarsk（北緯55度、東経93度）、Irkutsk（北緯52度、東経104度）、Yakutsk（北緯62度、東経130度）の8地点で行い、各地点では、それぞれ郊外にある3箇所の開地で積雪深・全層密度及び全層サンプリングを行った。

観測結果

各地点における同位体比及び積雪を水量に換算した積雪水量を図1に示す。これを見ると、各地点内の同位体比のばらつきよりも地点毎のばらつきのほうが大きく、各地点間の比較を行うと以下の点に注目される。

- 同位体比は内陸に進むにつれて値が軽くなっている
- Novosibirsk を境に同位体比が急激に変化している
- 積雪水量は、西シベリアで増加している
- Novosibirsk で急激に積雪水量が増えている

次に、水蒸気の起源や輸送経路について定性的に解析するのによく用いられる d-excess ($\delta D - 8 \delta^{18}O$ で定義される) の東西分布を図2に示す。これをみると d-excess は、Krasnoyarsk や Irkutsk といった内陸部では地点内でのばらつきはあるが、東西方向のばらつきは小さい。また d-excess の絶対値は Moskow をのぞいて世界平均値の10よりも大きい値を示している。

結論

今回観測された同位体比の変化は、水蒸気塊が東進しながら降雪として重い同位体比が取り除かれるために、西に向かうにつれて同位体比が軽くなると考えることができ、特に東経80度付近の強い収束帯の後に、同位体比が大きく変化していることもこの考えを支持している。また、シベリア内部で世界平均値よりも高い d-excess 値が観測されたが、これは、(1) 降雪の起源となる水蒸気の d-excess が高い、(2) 降雪形成時の動的同位体分別効果によって d-excess が高くなる の2つの仮説が考えられる。しかし、(2) の効果が支配的と考えた場合、凝結温度が下がる毎にその効果が大きくなることから、東高西低の東西分布になると予想できるが結果はこれと矛盾している。(1) の効果を考えた場合、冬季に地中海や 海で起こる急性蒸発起源の水蒸気は、高い d-excess の値を取ることが過去の研究から知られており、これが水蒸気の起源と考えれば矛盾なく説明できる。今後この仮説が正しいかどうか客観解析データを使った大気水収支の解析を進めると共に、大気モデルに同位体を組み込んだ統合モデルを使って検証を行う予定である。

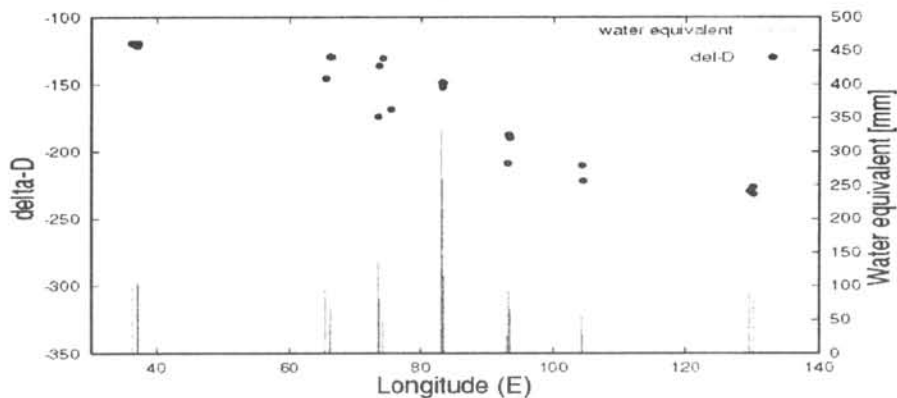


図 1. 水素同位体比と積雪水量の東西分布図

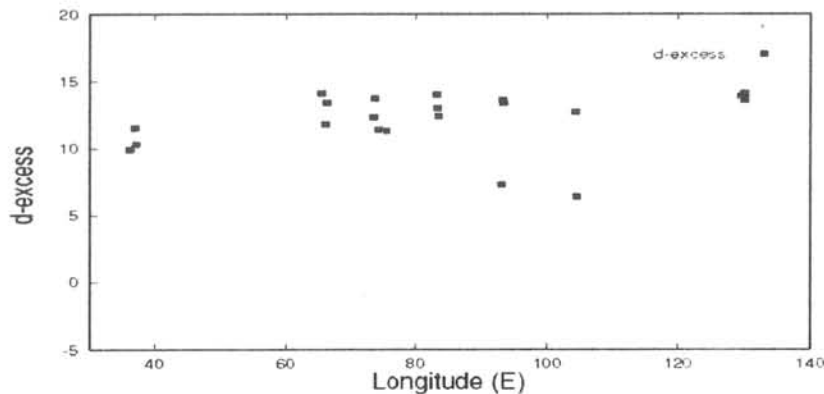


図 2. d-excess の東西分布図

バレンツ海における溶存炭酸物質の季節変化に関する研究

中岡慎一郎、青木周司、中澤高清（東北大）

橋田元、森本真司（極地研）、渡井智則（地球・人間環境フォーラム）

Seasonal variation of Dissolved Inorganic Carbon in the Barents Sea

S.Nakaoka, S.Aoki, T.Nakazawa (Tohoku University),

G.Hashida, S.Morimoto (National Institute of Polar Research),

T.Watai (Global Environmental Forum)

Normarized content of dissolved inorganic carbon ($n\Sigma\text{CO}_2$) and its carbon isotopic ratio ($\delta^{13}\text{C}$) were measured in the Barents Sea since 1995. The data obtained in surface layer show seasonal variations with low in summer and high in winter for $n\Sigma\text{CO}_2$ and vice versa for $\delta^{13}\text{C}$. Negative correlation between $n\Sigma\text{CO}_2$ and $\delta^{13}\text{C}$ in surface layer was clearly seen in summer. The relation was mainly attributed to biological of phytoplankton. It is obvious from vertical profiles of $\delta^{13}\text{C}$ that forced mixing of sea water from the surface to the bottom and strong stratification of sea water from the surface to 100m depth occurred in winter and summer, respectively.

1) はじめに

1992年以降、極地研及び東北大学が進めてきたバレンツ海及びグリーンランド海における観測から、この海域が CO_2 の強い吸収源であることを示す結果が得られつつある。本研究では1995年6月、96年7-8月、99年1-2月、99年11月の比較的浅いバレンツ海西部海域(最大約500m)において行った観測から得られた溶存無機炭素(ΣCO_2)、及びその炭素の安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$)等の測定結果について報告する。

2) 測定方法

ニスキン採水器により海洋表層および各層で海水を採取し、生物活動を止めるために塩化第二水銀を加えた。その海水試料を東北大に持ち帰り、マノメトリック法を用いて ΣCO_2 を測定した後、封入管に CO_2 を転送し質量分析計(MAT-deltaS)にて $\delta^{13}\text{C}$ を測定した。

3) 結果と考察

はじめに表層の季節変化について考察する。図1は表層(10m以浅)の $n\Sigma\text{CO}_2$ と $\delta^{13}\text{C}$ を観測ごとに表わしたものである。夏期(6月,7-8月)には $n\Sigma\text{CO}_2$ と $\delta^{13}\text{C}$ は大きくばらついているものの、両者の間に明らかな負の相関が見られた。この勾配は約-9‰(mmol/Kg)⁻¹であり、これはKroopnick (1974)の広域観測から求めたものとほぼ一致している。このことは植物プランクトンの光合成によって海水中の無機炭素が消費され、同位体分別効果による $\delta^{13}\text{C}$ の増加が引き起こされていることを示している。一方冬期(1-2月)には $n\Sigma\text{CO}_2$ と $\delta^{13}\text{C}$ は狭い範囲に集中しており、両者の間に正の相関が見られ、その勾配は約3‰(mmol/Kg)⁻¹であった。この原因については現在解析中であるが、何らかの物理プロセスを表しているものと考えている。11月については塩分を測定しておらず、 $n\Sigma\text{CO}_2$ と $\delta^{13}\text{C}$ の関係は分っていない。しかし $\delta^{13}\text{C}$ について見ると0.9~1.5‰に分布しており、これは夏期と冬期の $\delta^{13}\text{C}$ を補完している。今後の秋期と春期の観測によって、この海域における表層の季節変化がさらに詳細に明らかになることが期待される。

次に、この海域の鉛直物質輸送について考察する。図2は観測ごとの $\delta^{13}\text{C}$ の鉛直分布を表している。1-2月は活発な鉛直混合によって表層から深層まで海水が均質であり、 $\delta^{13}\text{C}$ は全層にわたって約0.9‰であった。7-8月には、表層(10m以浅)において、前述した通り光合成による同位体分別効果によって $\delta^{13}\text{C}$ は高い値を示す。しかし100m以深では1-2月と同様に約0.9‰で一定となっていた。一方11月に

は、ほぼ全層にわたって $\delta^{13}\text{C}$ が高く、深度とともに緩やかに値が低下し、底層で約1%となる分布が得られた。これらの分布から、この海域は冬期には鉛直混合が活発化し、夏には表層が安定成層を形成して下層との物質交換が妨げられる事が明らかになった。また、11月は鉛直混合が活発化する過渡的な時期であることも明らかになった。

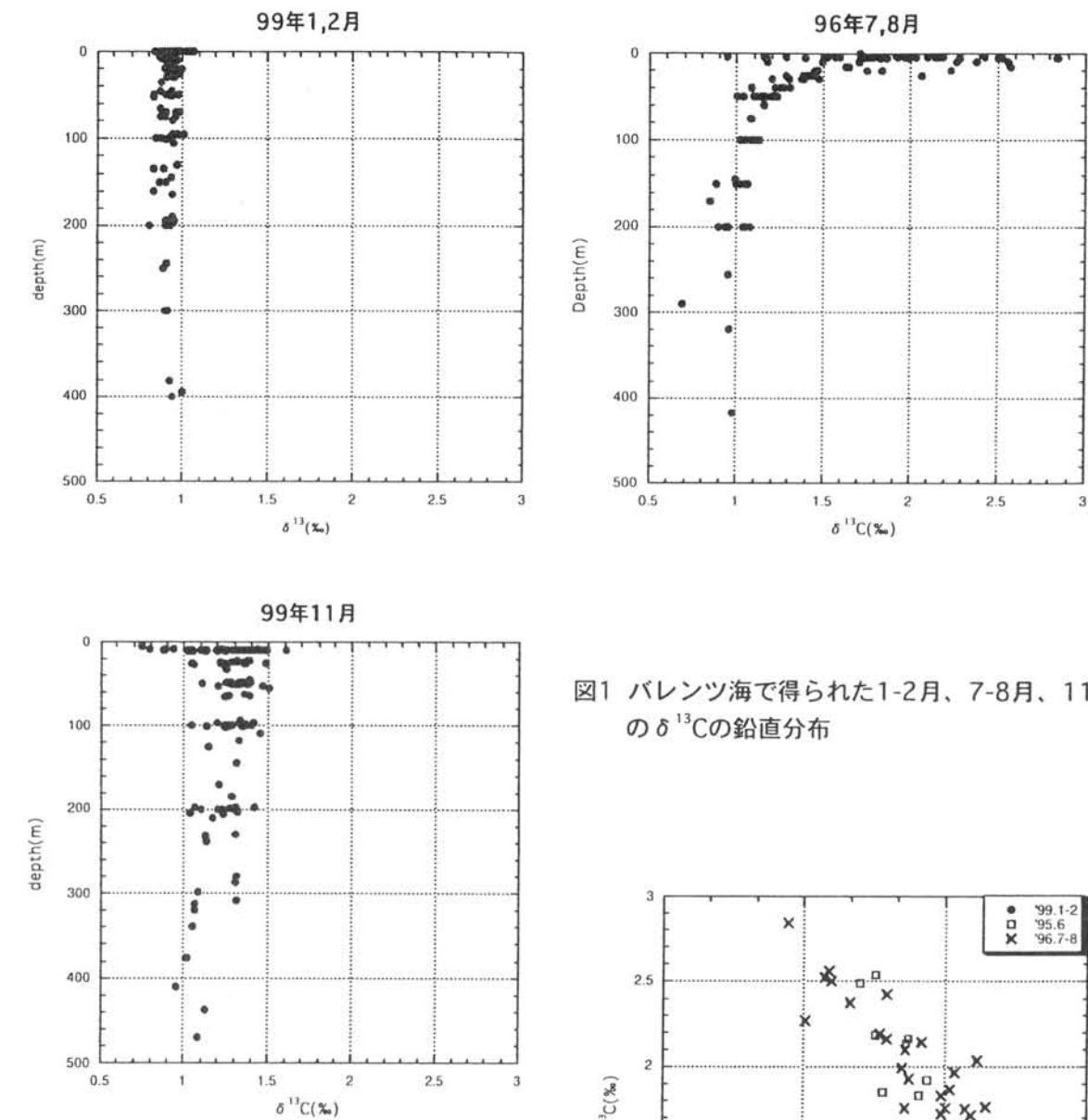


図1 バレンツ海で得られた1-2月、7-8月、11月の $\delta^{13}\text{C}$ の鉛直分布

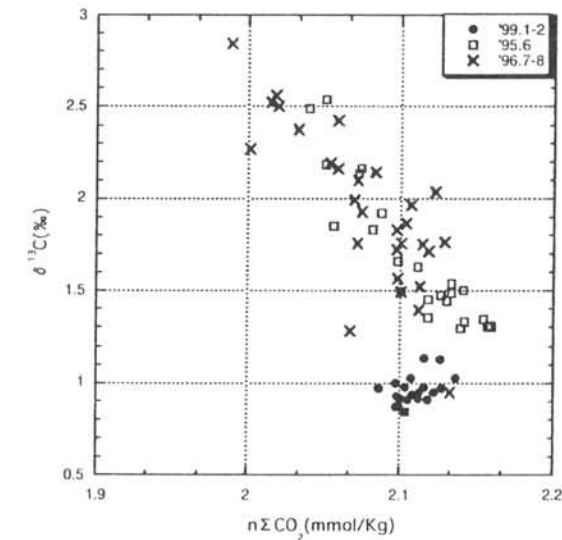


図2 バレンツ海表層水の $n\Sigma\text{CO}_2$ と $\delta^{13}\text{C}$ の関係

3次元画像計測による海水厚測定に関する研究

東海大学 ○谷口悠司、中山雅茂、長 幸平、下田陽久、坂田俊文

Research on the sea ice thickness measurement by 3D image measuring

Y.Taniguchi, M.Nakayama, K.Cho, H.Shimoda, T.sakata (Tokai Univ.)

The ice thickness is an important factor for understanding the heat flux of sea ice area. In order to measure sea ice thickness from an icebreaker, the authors have developed a 3D measurement system using stereo digital camera. By taking the stereo images of the cross section of the sea ice from the edge of the ice breaker, one can measure the sea ice thickness with less than 1.5cm accuracy.

1、はじめに

海水の観測において海水厚は重要な観測パラメータの一つであるが、精度の良い効率的な測定法は確立されていない。そこで、発表者らは砕氷船上に設置した2台のデジタルカメラから割れた海水断面を撮影し、3次元画像計測を行うことによりその海水厚を精度良く測定するシステムを試作した。その実験結果について報告する。

2、既存の海水厚測定手法

海水厚の最も確実な測定方法は、海水に穴を開けて物差しで実測する方法であるが、時間がかかるうえ危険である。このため、船上から簡易的に計測する方法がいくつか試みられてきた。その基本的な考えは砕氷船によって割られて立ち上がった海水の破断面を校正用のスケールと共に船上のビデオカメラ等で撮影し、画像上の破断面の長さから海水厚を計測するというものである(図1参照)。この手法は簡便ではあるが、ビデオ画像上の海水の傾きが特定できないため、5cm程度の精度しか期待できなかった(宇都ら1998)。

3、試作システムの概要

筆者らは、砕氷船から精度良くかつ効率的に海水厚の測定を行うことを目的とし、2台のデジタルカメラを用いた氷厚測定用3次元画像計測システムを試作した。試作システムの仕様を表1に、観測概念図を図2にそれぞれ示す。試作に当たっては可搬性を考慮し、1mのアームに2台のデジタルカメラを固定し、そのアームを2台の雲台で船の手すりに固定する方式をとった。防寒対策としては、カメラにフードを付けバッテリー付近に携帯懐炉を貼り付けた。また、計測用のリファレンスとして直方体(約50cm×40cm×45cm)のアンクルを組んだ。

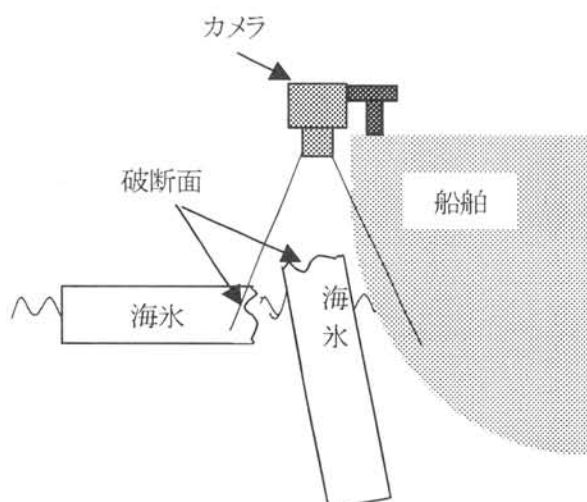


図1. 海水の破断面の観測概念図

表1. 3次元画像計測システムの仕様

カメラ	機種:FUJIX DS-330 画素数:1280×1000 焦点距離:f=35mm~105mm (35mmカメラ換算) 撮影感度:ISO100相当(標準)
付加機能	可変長アーム(1m) 二股電子リリース
撮影条件	シャッタースピード:1/1000秒 絞り値:F8 焦点距離:35mm 基線長:75cm 撮影距離:250cm 画素サイズ:2mm/画素相当
計測用ソフト	テクノビューアー3D (テクノバニガード社)

4、計測実験

今回は、北海道紋別港の観光砕氷船ガリンコ号の船尾左側、海面から約2.5mの高さの手すりに試作システムを設置し、観測を行った(図3参照)。実験では寸法が既知の直方体のアンクルを海面上にロー

プで降ろし、本システムの3次元計測精度を評価した。その結果を表2に示す。奥行き1.4cm、縦横約0.7cm以下の精度で海面付近の物体の3次元計測が可能であることが確認できた。

また、実際に海氷域を航行する船上から試作システムで海氷の破断面の撮影・海氷厚測定を実施した。氷厚は撮影したステレオペアの画像から対応点を見つけ、破断面の上面と下面の間の距離を測ればよいことになる。しかし、破断面は一般に平坦とは限らず、上面と下面のどこの距離を計測すれば良いかの判断が問題となる。そこで、筆者らは海氷の上面及び下面の縁に沿って数点对応点を取り、その点を通る平面を求め、両面間の距離を算定することにした。氷盤は常に平ら(上面と下面が平行)とは限らないが、氷厚測定が意味をもつ比較的平板な氷盤について、片方の面から片方の面に5点ほど垂線をおろし、その距離の平均値を氷厚として算定した。この時の測定値と標準偏差を表3に示す。今回、氷盤の破断面に成長過程を示す幾つかの層が見える海氷について各層の厚さの計測も実施した(図4)。その結果を表4に示す。これらの結果は、本システムによる海氷厚測定の有効性を示唆している。

5. まとめ

今回、試作したシステムで海氷厚測定の実験を実施した。その結果、良好な状態で観測が行えれば、1.5cm以下の精度で破断面の海氷厚の測定が可能であることが確認できた。問題点としては、海氷面の反射率が高く、かつ海氷の破断面の形状が複雑なことが多く、撮影方向によって画像上の海氷面の見え方が大きく変化するため、ステレオペア間で対応点を取りにくいことがあげられる。今後は、偏光フィルタの使用、基線長の延長等を行い、計測精度の向上を図っていきたい。

謝辞

室内実験の実施では国立極地研究所の本山助教に、また、紋別港のガリンコ号乗船実験では(株)オホーツク流水科学研究所の濱岡部長、(株)オホーツクガリンコ観光汽船の安部部長および関係者の方々に多大なご協力を頂いた。記して感謝します。

参考文献

1)宇都、下田、田村、砕氷船によるオホーツク海 海氷観測の成果、オホーツク海ワークショップ報告書、地球環境観測委員会、1998

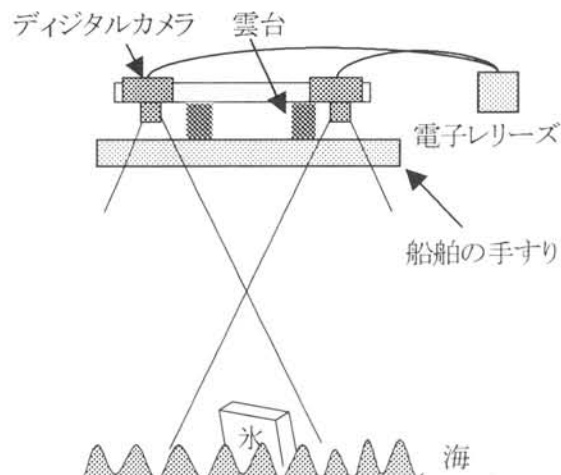


図2. 試作システムによる観測概念図

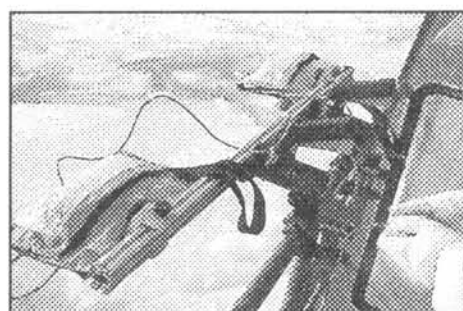


図3. 試作システムによる観測風景



図4. 氷盤の破断面

表2. 3次元画像計測の精度(cm)

向き	実測	計測	誤差
縦	52.5	51.8	0.7
	52.5	52.0	0.5
	10.0	10.1	-0.1
	20.0	19.5	0.5
	10.0	10.0	0.0
	20.0	19.7	0.3
横	5.0	4.9	0.1
	5.0	4.8	0.2
	38.5	38.2	0.3
	38.5	38.1	0.4
	38.5	39.1	-0.6
	38.5	38.1	0.4
奥	46.5	45.1	1.4
	46.5	45.5	1.0

表3. 海氷厚の測定

海氷厚(cm)	28.3
	30.1
	29.8
	29.0
	27.4
平均値(cm)	28.9
標準偏差	1.0

表4. 氷盤の各層の厚さ

層	厚さ(cm)	標準偏差
A	7.9	0.7
B	5.1	1.7
C	6.0	1.9
D	10.0	1.0

マイクロ波放射計による一年氷の成長段階を考慮した 海氷密接度推定の高精度化に関する研究

中山雅茂、長幸平、下田陽久（東海大）、西尾文彦（千葉大）

Study on technique for estimate the sea ice concentration considered growth level of first year ice using passive microwave radiometer

M. Nakayama, K. Cho, H. Shimoda (Tokai University), F. Nishio (Chiba University)

Observations of development-dependent changes in brightness temperature from dark nilas, light nilas, pancake ice, young ice and first-year ice were made at 6.925, 10.65, 18.7, 23.8, 36.5 and 89.0 for both polarizations using an airborne microwave radiometer (AMR), which has the same 12 channels (dual polarized at 6 frequencies) as AMSR with much higher resolution in the Okhotsk Sea. The sea ice cover of the Okhotsk Sea is primarily of the first-year ice type. We observed that discrimination of new ice from first-year ice is necessary to improve the accuracy of sea ice algorithms. Therefore, the combination of frequency band and polarization, which may be useful for classifying the first-year ice based on growth levels, was 6.925GHz H-pol and 36.5GHz V-pol.

1. はじめに

衛星搭載マイクロ波放射計による海氷観測は約30年近く行われてきた。その観測によって主に海氷密接度が推定され、両極を中心とする海氷の分布が明らかにされた。そのような中、今までよりも観測周波数帯を増やし空間分解能が向上する高性能マイクロ波放射計（AMSR：Advanced Microwave Scanning Radiometer）が本年末と来年にNASAとNASDAによってそれぞれ打ち上げられる予定である。そこでAMSR検証用に開発された航空機搭載マイクロ波放射計（AMR：Airborne Microwave Radiometer）によるオホーツク海での海氷観測結果から、一年氷の成長段階を考慮した海氷密接度推定の高精度化に関する手法を提案する。

2. 海氷の成長段階に起因する誤差要因

既存の海氷密接度推定アルゴリズムの一つである Bootstrap algorithm は一年氷の存在

する海氷域で 19GHz V-pol と 37GHz V-pol を用いて海氷密接度を推定する。Bootstrap algorithm の概念図を図1に示す。図1のOWは開放水面、FYは一年氷、MYは多年氷にそれぞれ対応する。同アルゴリズムでは多年氷と一年氷の混在する海氷密接度100%の輝度温度はMY-FYを結ぶ直線上に分布することを利用している。任意の観測点の輝度温度をPとすると、OWとPを結ぶ直線とMY-FY直線の交点Qを求め、線分OW-Qに対する線分OW-Pの内分比から海氷密接度を求めるというものである。一年氷だけで構成される海氷域では海氷密接度100%の場合がFYに対応し、開放水面の割合が増えるとともにOW側へ移動することになる。

本研究ではAMRによって観測された一年氷をAMR観測と同時に航空機直下の海氷状態を撮影したビデオ画像をリファレンスとして成長段階ごとに nilas, pancake, young, first-year ice に分類した。使用したデータは

1996年2月17日と1997年3月16,17日にAMRによるオホーツク海での観測で得られたものである。これらの各成長段階の輝度温度をBootstrap algorithm と同じ 18.7GHz V-pol と 36.5GHz V-pol の特徴空間にプロットしたものを図2に示す。AMRの観測視野内が同一成長段階の海水で覆われた海水氷接度 100%の海水域だけを対象とした。ここで海水氷接度が 100%で成長段階が若い一年氷の場合にはFY-OW を結ぶ直線に沿って輝度温度が低くなっている傾向が見られる。つまり Bootstrap algorithm では、海水氷接度 100%の若い一年氷が実際よりも低い氷接度に算定されることになる。

3. 一年氷の成長段階を考慮した氷接度推定

AMR 観測データの 36.5GHz V-pol と 6.925GHz H-pol の輝度温度の散布図を図3に示す。図3に示した観測値は図2に示したものと同一観測視野から得られた値である。図3より海水の成長段階が若くなるほど、その海水の 6.925GHz H-pol の輝度温度が低くなることがわかる。そこで図3に示した FY と NEW を結ぶ線分と OW を結ぶ三角形の特徴空間を利用することで一年氷の若い成長段階の海水域についても海水氷接度を精度良く推定することができる可能性がある。

4. まとめ

AMR 観測によって得られた成長段階の異なる一年氷の観測輝度温度から 36.5GHz V-pol と 6.925GHz H-pol を用いることで、一年氷の成長段階を考慮した海水氷接度推定が可能であることを示した。

今後はモデルによる検証などを行い、海水氷接度推定アルゴリズムの改良を行っていきたい。

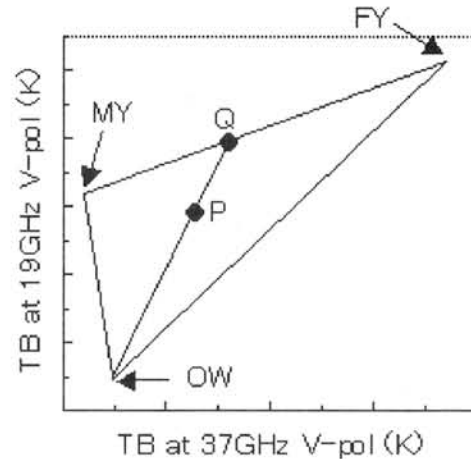


図1 Bootstrap algorithm の概略。

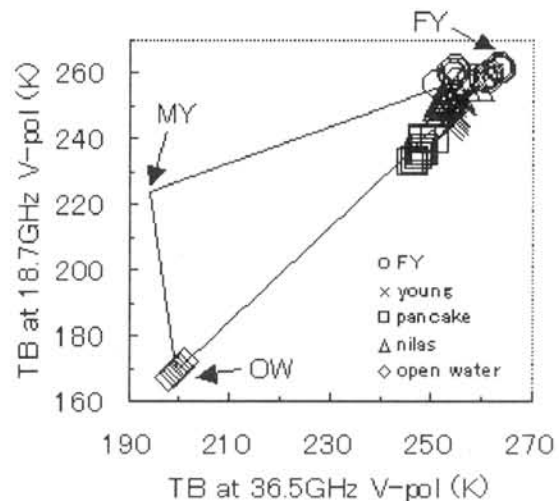


図2 一年氷の成長段階の違いと 36.5GHz V-pol と 18.7GHz H-pol の輝度温度。

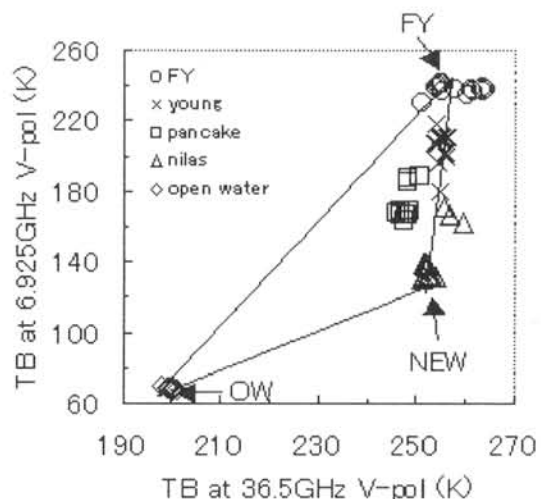


図3 一年氷の成長段階の違いと 36.5GHz V-pol と 6.925GHz H-pol の輝度温度。

人工衛星搭載マイクロ波放射計 SSM/I による海氷厚さの推定 館山一孝, 榎本浩之 (北見工大), 豊田威信 (北大低温研), 宇都正太郎 (船舶技研)

Estimation of sea ice thickness using satellite passive microwave radiometer SSM/I

Kazutaka Tateyama, Hiroyuki Enomoto (Kitami Institute of Technology),
 Takenobu Toyota (Hokkaido University), Shotaro Uto (Ship Research Institute)

Sea ice thicknesses were estimated by the passive microwave radio meter SSM/I mounted on DMSP satellite. These estimated ice thicknesses were validated with the ice thickness derived from the ship-based observations by the ice-breaker Soya during 1996-1999. The brightness temperatures of the 85-GHz channel (T_{B85V}) of SSM/I showed a correlation with ice thickness that the T_{B85V} decreases with an increase of sea ice thickness.

1.はじめに 海氷の面積は人工衛星の可視・近赤外、マイクロ波センサーによって定常的に観測が行われている。一方で、海氷の厚さに関する観測は、潜水艦等の音響ソナーによる海面下キール部の測定やレーザー高度計による海面上のマスト部の測定及び後者と電磁誘導を組み合わせた EM 法による測定が行われている。これらの測定は線的な一部地域で非定期に行われているのに留まっており、人工衛星による広範囲かつ定常的な氷厚観測は技術的な困難さのためこれまで行われてこなかった。

本研究では、DMSP 衛星のマイクロ波放射計 SSM/I の高周波チャンネル 85-GHz と海上保安庁の耐氷船そうやによるオホーツク海の水氷観測から得られた氷厚データとの関係を調べ、人工衛星による海氷厚さ観測を実験的に試みた。

2.データ マイクロ波放射計 SSM/I の輝度温度データは、米国の NSIDC から配布されているものを使用した。このデータセットは衛星によって約 1 日かけて観測された全球のデータをポーラステレオに変換している。耐氷船そうやによって得られた氷厚データは、1996 年から 1999 年の 2 月に北海道大学低温科学研究所と船舶技術研究所によってビデオを用いて測定された。これらの氷厚データは、対応する SSM/I のグリッドデータに変換した。SSM/I のグリッドサイズは 85-GHz チャンネルで $12.5 \times 12.5 \text{ km}^2$ であるので船舶観測のデータはこの範囲の平均値となる。

3.結果 図 1 に SSM/I の 85-GHz チャンネルの垂直偏波の輝度温度 (K) とそうやによって得られた氷厚の関係を示す。プロットされた点の直径は氷厚と同時に観測された積雪深の深さ

を表している。船舶観測による個々の氷厚データは 10cm 以下のものから存在するが、SSM/I のグリッドサイズに変換する際に平均化されたため、SSM/I データとの比較には厚さ 41cm から 82cm の比較的厚い氷のサンプルしか得られなかった。

図 1 から、海氷の厚さが増加するのに伴って 85-GHz チャンネルの輝度温度が低下する傾向にあることがわかった。この結果は、海水からの熱の供給を受け物理温度が高いことから、薄い氷の表面から放射される輝度温度は一般的に高くなり、厚い氷は物理温度が低いため輝度温度が低下するという室内実験等の過去の研究結果と一致している。

海氷上の積雪の影響は、今回のデータからは有意な傾向は見られなかった。しかし、積雪深は一般的に海氷の厚さに比例しており、積雪深の多少は海氷の厚さの変化を強調する、いわばエンハンスメントファクターとして扱えると考えられる。人工衛星マイクロ波放射計による海氷上の積雪深の観測方法はさらに検討が必要である。

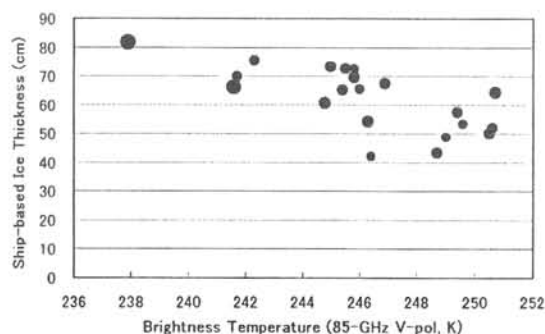


図 1. そうやによって観測されたオホーツク海海氷の厚さと DMSP 衛星のマイクロ波放射計 SSM/I の輝度温度データとの関係

RCヘリコプターを用いたオホーツク海沿岸海水観測実験

長 幸平・谷口悠司・中山雅茂・下田陽久・坂田俊文（東海大）

本多嘉明・梶原康司（千葉大）

Okhotsk sea ice monitoring experiment using RC helicopter

K.Cho, Y.Taniguchi, M.Nakayama, H.Shimoda, T.Sakata(Tokai University)

Y.Honda, K.Kajiwara(Chiba University)

In order to take images and measure multi-spectral radiances of earth surface from very low altitude, a RC(remote control) helicopter based measurement system was developed at Chiba University. The measurement system includes spectrometer, digital camera, as well as laser range profiler. The sea ice monitoring experiment using this RC helicopter system was performed along the coast of the Okhotsk Sea in February, 2000. The observation result suggested the advantage of using the RC helicopter system for sea ice monitoring.

1. はじめに

広域な海水観測におけるリモートセンシングの有用性は広く認識されている。しかし、衛星、航空機等に搭載されたセンサで取得された画像はそれぞれ分解能等が異なり、各画像で識別できる海水情報は同等ではない。衛星画像に現れる海水分布パターン等を実際の海水の状況と対応付けるためには、様々な高度（および分解能）での観測データの取得とその比較が不可欠である。こうした観点から筆者らは、千葉大学で開発された現地調査用にRCヘリコプターシステムを使って、北海道湧別町のオホーツク海沿岸で海水観測実験を実施し、低高度からの海水画像等を取得した。その概要について報告する。

2. RCヘリコプターシステムの概要

使用したRCヘリコプター（以下RCヘリ）は農薬散布などに使用されているもので、GPSを搭載し、位置精度20cmの定点ホバリングが可能である。主な機能仕様を以下に示す。

（1）機体仕様

- ・全長：3.6m、全幅：80cm、全高：1.2m、重量：70kg

（2）飛行性能

- ・ペイロード：25kg、航続時間：60分
- ・耐候性：風速10m/s以下
- ・手動飛行可能範囲：200m以内
- ・プログラムフライト機能
- ・定点ホバリング精度：20cm

（3）観測システム

- ・分光放射計：観測波長域：約500nm～900nm
- ・デジタルカメラ：600万画素（3000×2000）
- ・レーザー測距儀：精度50cm、DGPS：精度20cm



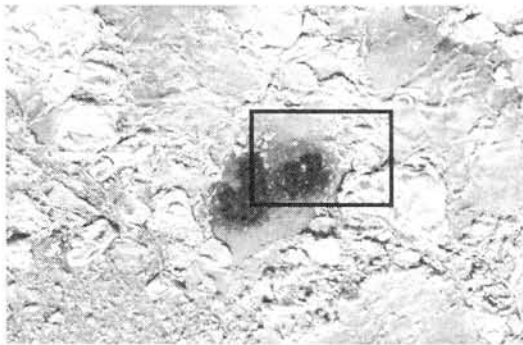
図1. RCヘリコプターシステム

3. テストサイト

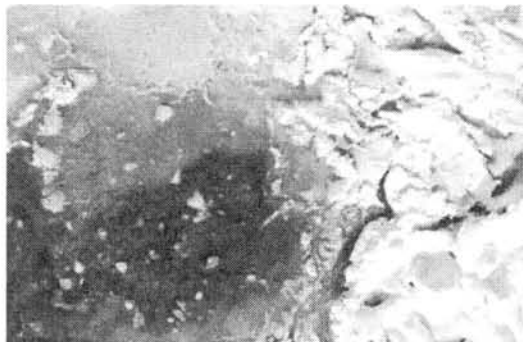
テストサイトとして、北海道湧別町の海岸を選定した。これは、海水が漂着している海岸で、かつ近くにRCヘリ操作用の機材を搭載したトラックが容易に進入・駐車できる見晴らしの良い場所があるという条件から選定した。

4. 観測結果

2000年2月23日、快晴、微風、気温－6度の天候に恵まれ、RCヘリは問題なく稼動し、観測データ（デジタル画像、分光放射スペクトル）も予定通り取得できた。また、地上でも分光スペクトル、氷厚、積雪深等の測定を実施した。RCヘリは高度15m、25m、60mで観測を行ったが、プログラムフライトにより、60mで撮影した領域が15m、25mの高度のフライトでも分割撮影により精度良くカバーされた。取得されたデジタル画像と分光反射スペクトルの例を図2、図3に示す。



(a) 観測高度：約60m（分解能：約16mm）



(b) 観測高度：約15m（分解能：約4mm）

図2. 取得したデジタル画像例

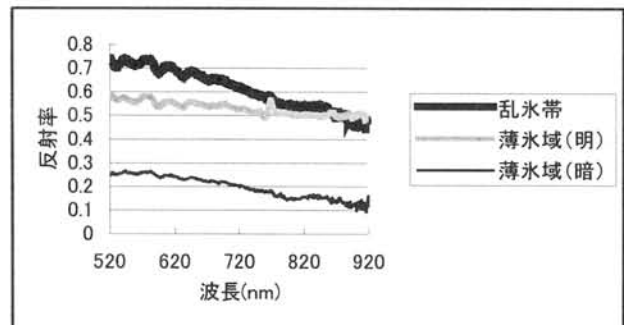


図3. 測定した分光反射スペクトルの例

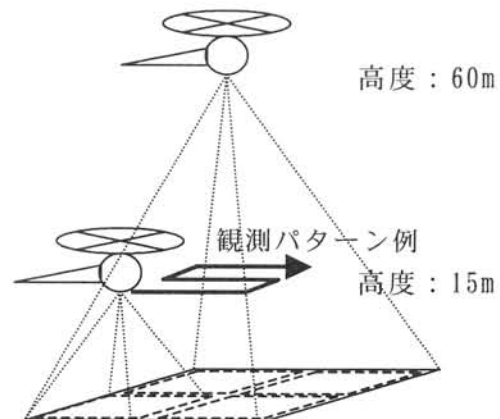


図4. プログラムフライトによる高度別撮影

5. まとめ

RCヘリシステムを用い、15m～60mの高度における海水の画像撮影および分光放射スペクトル観測を実施した。通常、こうした低高度からの海水域の観測はほとんど実施されておらず、その観測データは地上観測と航空機観測、衛星観測を結びつける貴重なデータと位置付けられる。また、今回、RCヘリシステムが冬期の北海道でも問題なく機能したことは、今後、雪氷観測におけるRCヘリ利用の可能性を示したものである。

オホーツク海南部の海氷成長に及ぼす積雪の寄与について

豊田 威信, 河村 俊行, 中塚 武, 若土 正暁 (北大低温研)

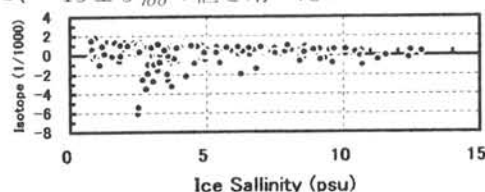
Contribution of snow to the sea ice growth in the southern Sea of Okhotsk

T.Toyota, T.Kawamura, T.Nakatsuka and M.Wakatsuchi (Hokkaido Univ. ILTS)

Ninety four ice samples were collected in early February for 1996 to 2000 in the southern Sea of Okhotsk and the stable-isotopic compositions were investigated to understand the formation processes of the sea ice, particularly the contribution of snow. The averaged sea ice $\delta^{18}O$ was 0.538‰ . The fractionation factor, sea water $\delta^{18}O$, and snow $\delta^{18}O$ are deduced as 1.7 ± 0.53 , -0.910 ± 0.227 , and $-15 \pm 5\text{‰}$ from the observation. With these values, the fraction of snow is estimated as 2 % on average, 9 % at maximum.

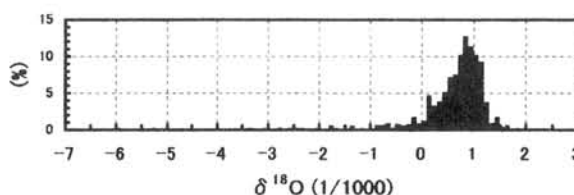
1. はじめに 海氷の生成履歴には、大きく分けて海水が凍結したものと海氷上の積雪が氷化したものの2通りあることが知られており、例えば降雪量の多い南極域では後者の寄与が24%に達するとの報告もある (Jeffries et al. 1997)。両者の比率を見積もることはオホーツク海における海氷の生成過程や成長量を見積もる上で重要と考えられる。そこで、オホーツク海南部の比較的広範囲な海氷域で1996~2000年の5年間にわたって2月(結氷期)に採取した94個の海水サンプルを用いて海水全体に対する積雪の寄与を見積もることを試みた。

2. 測定方法 結晶構造の観察や塩分分析のみでは両者の識別が困難な場合が多い。ここでは、もともとなる積雪と表面海水の酸素同位体比($\delta^{18}O$)が明瞭に異なる性質を利用して海氷の $\delta^{18}O$ を測定することにより積雪が関与した割合を見積もった。得られた海水サンプルから鉛直方向に2cm刻みの直方体の試料を作成し、各々の密度、塩分、 $\delta^{18}O$ を測定した。計算で必要となる海水の $\delta^{18}O$ は2000年2月の観測航海でオホーツク海南西部の18点で採取した表面海水の平均値($-0.910 \pm 0.227\text{‰} = \delta_w$)を用いた。また、積雪の $\delta^{18}O$ (δ_s)は観測期間中に海氷上や甲板上の積雪を採取して測定した結果をもとに、 $-15 \pm 5\text{‰}$ の値を用いた。

図1. 海水の $\delta^{18}O$ と塩分との関係

3. 結果 海氷の全体平均値としての $\delta^{18}O$ (δ_i)は 0.538‰ (試料数801)であった。個々の試料の塩分と $\delta^{18}O$ の関係は図1に示されている通り、いくつかの外れた点を除いて両者には緩やかな負相関が見られる。また、columnar iceで $\delta^{18}O$ が深さとともに増加している($0.5 \sim 1.0\text{‰}$)サンプルも幾つか見られ、海水から海氷が生成する際の分別係数(f)は成長速度に依存することが示唆される。しかしながら、両者の関係についての確かな知見はまだ確立されていない実状をふまえ、ここでは海氷の $\delta^{18}O$ の最頻度値(図2参照)と表面海水の値の差(1.71 ± 0.53)をこの海域における代表的な分別係数として与えた。誤差は最頻度値の半値幅と δ_w のばらつきの和で見積もった。 $(1 - f_s) * (\delta_w + f) + f_s * \delta_s = \delta_i$ の式をもとに計算した結果、積雪の寄与(f_s)は平均約2%、最大で約9%と見積もられた。この値は従来報告されてきた南極域の値よりもやや低めの値である。

謝辞 船上で海水試料の採取にあたっては、海上保安庁巡視船「そうや」の乗組員の方々にお世話になりました。オホーツク海全体の表面水の $\delta^{18}O$ のデータは山本美千代さん(北大地球環境)の測定データを参照しました。記して感謝します。

図2. 海氷 $\delta^{18}O$ のヒストグラム

海氷場の次元低下に伴う 補変数

伊藤 一 (国立極地研究所)

Supplementary variables introduced by the projection of the sea ice field into a plane
Hajime ITO (NIPR)

A sea ice field, a possibly frozen sea surface, is spun in a three dimensional space. It is often treated as a two dimensional problem for the sake of simplicity. Essential information contained in the three dimensional body and lost by the projection have to be preserved in the form of supplementary variable attached to each coordinates in the two dimensional space. The variable can be defined in numerous ways. The characteristics of some definitions are discussed using a concrete example of the ice thickness $t(x_1, x_2)$, a non-negative scalar valued variable.

海氷は三次元空間に展開しているので、その状態や挙動を記述する場合は三次元 (n 階) ベクトルで表現される。しかしながら、三次元の解析が複雑であること、また、海氷が鉛直方向に比べて、水平面に大きく展開していることから、二次元化して取り扱われることが多い。

次元低下に際して、ある程度の情報量の減少はやむを得ないとしても、必要な情報は補変数として別個に把握し、二次元解析に際して用いなければならない。すなわち、近傍の (三次元) 部分空間に含まれる情報を、二次元の各座標に補変数として添付する。補変数自体が二次元空間に場を張る。補変数は部分空間のすべての情報を含むことができない。また、その定義は一義的ではない。

非負スカラー変数である氷厚 $t(x_1, x_2)$ を例にあげて、いくつかの定義の特徴を検討した。当面興味のある主題により、同一の現象に関しても最適な定義が異なることを示す。

ドームふじ観測拠点における夏季の雲量の日変化

平沢尚彦・山内 恭 (極地研)

Diurnal variation in cloud amount around Dome Fuji Station in summer season

Hirasawa, N. and Yamanouchi, T. (NIPR)

Diurnal variation in cloud amount at Dome Fuji Station in summer season was found out based upon the JARE-38 results. This study describes the aspects of it with surface meteorological data and NOAA images.

1. はじめに

ドームふじ観測拠点（以後、ドーム基地）では4月下旬から8月中旬の間には太陽が昇らない極夜の時期となる。概して、その間是对流圏の大気現象において顕著な日変化は見られなかった。冬明け以降の地上気温の顕著な日変化は10月中旬以降から安定して現れ、12月、1月（図1）に続く。10月上旬以前には、日変化の振幅よりも数日スケールのおそらく大気擾乱の影響による変動が顕著である。

ドーム基地での観測の結果、夏の時期には雲量の日変化がしばしば捉えられた。ここでは、夏至を中心として、12月1日から1月10日の40日間について、雲量の日変化のようすを記述する。

2. 地上気温と下向き長波放射量

図2には、顕著な雲量の日変化が続いた1997年12月27日から1998年1月6日の地上気温と下向きの長波放射量の時系列を示す。下向き長波放射量は上空に雲が現れると雲からの放射を反映して増加するが、ちょうど午前0時（LT）頃に増加している。実際に、これは、上空を雲が覆うことに対応していた。午前0時に向かって太陽高度が低くなるに連れて気温が徐々に下がるが、上空を雲が覆う時間帯は雲による温室効果で気温は一時的に上昇するようである。

当日は、NOAA画像を用いて内陸の雲量分布の変動についても議論する。

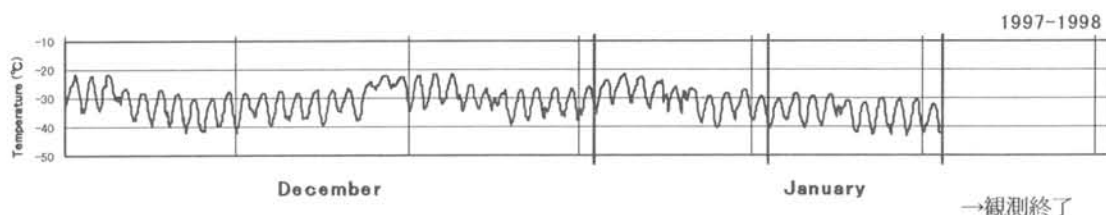


図1 1997年12月1日－1998年1月20日のドームふじ観測拠点の地上気温の変化。

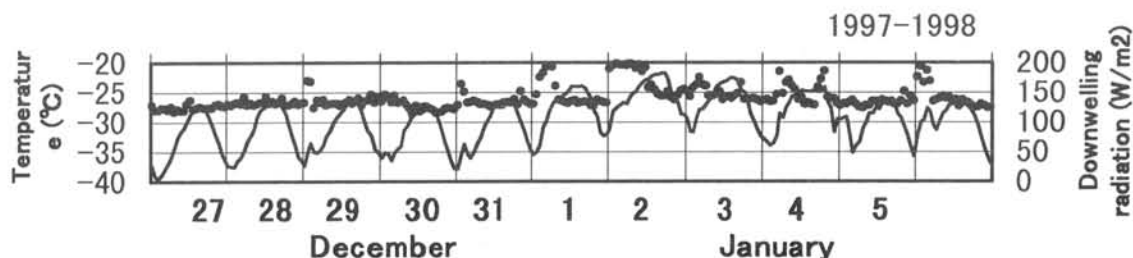


図2 1997年12月27日から1998年1月6日の地上気温（実線）と下向きの長波放射量（点）。

ドームふじにおける雲・ダイヤモンドダストのライダー観測

林政彦・首藤正毅（福岡大学理学部）・平沢尚彦・山内恭（極地研）
柴田隆・足立宏・酒井哲・田村耕一・岩坂泰信（名古屋大学 STE 研）

Lidar observation of tropospheric clouds and diamond dust at Dome-F

M. Hayashi, M. Sudo (Fukuoka Univ.), N. Hirasawa, and T. Yamanouchi (NIPR)
T. Shibata, H. Adachi, T. Sakai, K. Tamura, Y. Iwasaka (Nagoya Univ.)

Tropospheric cloud and diamond dust over Dome Fuji (77°S, 40°E, 3810m a.s.l.), East Antarctica, were observed with a Mie-Reylich scattering lidar from March to November in 1997. Optical thickness of the clouds over Dome F is so thin that lidar observations are carried out almost every day. Results of the observations are as following:

1) Strong scattering by ice particle, maybe diamond dust, are observed from ground to several hundred meter above ground very frequently. 2) Thick clouds with non-spherical particles appeared frequently, and also thin cloud with spherical particle, even under temperature of -70 °C, appeared several times. 3) The high altitude, > 8 km a.s.l., cloud appear associated with Blocking High some times. They seem to supply water vapor into lower most stratosphere and suggest that Blocking High affect stratospheric - tropospheric material budget.

1. はじめに

東南極高原域の上空に出現する雲について観測例は、ほとんどなく、その実体はほとんどわかっていない。しかし、この地域に雲が出現することは明らかである。それは、水循環のみならず、エアロゾルや微量気体成分の循環・収支や放射収支に大きな影響を及ぼしていることは容易に推察される。

そこで、38次南極地域観測隊では、気水圏第V期5カ年計画「南極域物質循環観測計画」の一環としてドームにおける雲・ダイヤモンドダストの観測が行われた（1997年3月～12月）。

ここでは、このうち、ライダーによる雲・ダイヤモンドダストの光学特性と出現の特徴に関する観測について報告する。また、それらが東南極域の対流圏・成層圏の物質輸送に対する影響について考えてみる。

2. 観測

a) ライダー（対流圏観測にかかわる部分のみ）

光源：Nd-YAGレーザーの基本波（1064nm）、第2高調波（532nm）

受信望遠鏡：25cm シュミットカセグレン

受信系：検出器光電子増倍管

1064nm、532nm（P, S 偏光分離）、670nm（532nm の窒素ラマン散乱）

データ処理系：

12 bit A/D コンバータアナログ計測（2チャンネル）

1064nm & 670nm または 532nm の P 波 & S 波

高度分解能 5m

微弱信号処理（ラマンチャンネル等）には、フォトンカウンティング計測データを利用。

b) 高層気象データ

現地において行われた高層ゾンデ観測

3. 観測結果

観測は、暗夜あるいは薄明がある時期についてはほぼ毎日行われた。一日の観測は、20分あるいは2時間としている。観測がほぼ毎日行われたのは、ドーム上空に、観測波長である532nmの後方散乱光が観測されなくなるほどの光学的に厚い雲が観測されることはまれであったことによる。Figure 1 に典型的な観測例（upper panel）および、ブロッキング高気圧形成後の観測例（lower panel）を示す。年間を通じた観測より得られた特徴は以下の通りである。

- 1) 地上から数百mの温度逆転層あたりには、ほぼ連日、多重散乱を起こす程度の氷粒子が存在していた。
- 2) 自由対流圏にみられる散乱層は、ほとんど非球形粒子を主体とする粒子群であり、幾何的な厚みは、多くの場合数 km に達していた。(ex. Fig. 1)
- 3) -70°C 程度の気温において、球形粒子からなると推測される幾何的な厚み 1 km 以下の雲が年間で 6 例ほど観測された。(ex. Fig. 1)
- 4) 光学的に厚い雲はブロッキング高気圧の形成に伴って形成されることが多かった。
ブロッキング高気圧に伴って形成された雲は、高度 12km にまで達していた。(Fig. 1) 上層の雲が形成されている領域の温位は、成層圏最下層の温位より高かった。このことは、ブロッキング高気圧による成層圏への水の供給の可能性を示唆するものである。
- 5) 夏季の圏界面高度である 8km より低高度では、頻繁に雲が出現している。たびたび、8km より高いところに雲が出現する。これは、多くの場合、ブロッキング高気圧の形成に対応していた。

謝辞：ドームふじにおける観測を支援していただいた、38 次南極地域観測隊隊員をはじめとするすべての方々に感謝いたします。

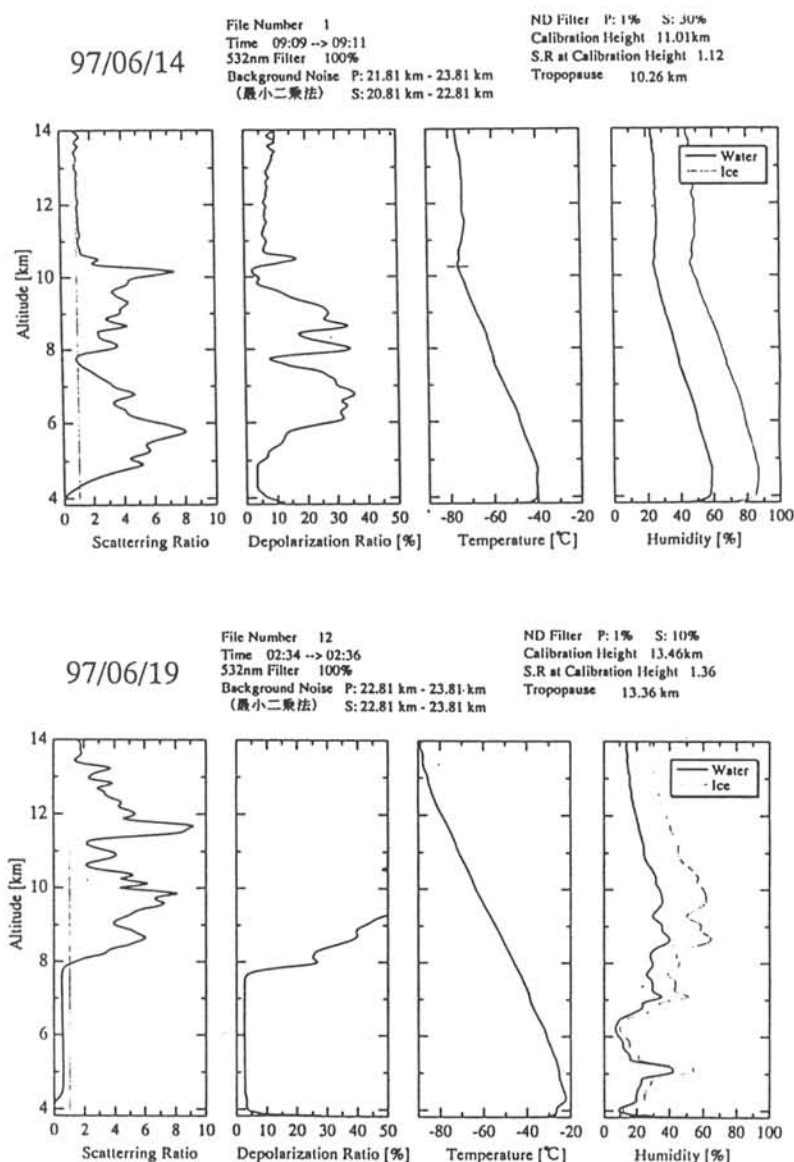


Figure 1 Profiles of optical properties for tropospheric cloud over Dome Fuji on June 14 (upper panels) and 19 (lower panels), 1997. Temperature and relative humidity are also shown.

リモートセンシングデータを用いた南極域における雲変動の研究

久慈 誠 (奈良女子大)・菊地 信行 (東北大学大学院・大気海洋変動観測研究センター)

A research of cloud variation over Antarctica using remote sensing data

Makoto Kuji (Nara Women's University) and Nobuyuki Kikuchi (Tohoku University, CAOS)

A processing system of the HRPT data archived in National Institute of Polar Research, to read out of them and display those images, was made. This system was developed with free C language compiler and X window libraries on Unix workstation. Using this system, the HRPT data, including AVHRR and TOVS, will be analyzed to research the variation of cloud and water vapor over the Antarctic region. In the first step, a cloud detection study over Antarctica was carried out. As a result of that, it is found that there is possibility to discuss the cloud horizontal inhomogeneity with the spatial coherence method (Coakley and Bretherton, 1982) as well as the conventional split window method (Yamanouchi et al., 1987).

1. はじめに

地球の気候において雲が果たす役割は、放射収支のみならず、水・エネルギー循環においても重要である。ここで、雲は時空間変動が大きいため、人工衛星による観測が有効である。特に、高緯度帯では、NOAA / AVHRR 等の極軌道衛星が最適である。

本研究では、南極域におけるリモートセンシングデータを用いて、雲の変動を導出することを目指して、HRPTデータ処理システムの開発を進めている。

今回はまず、Yamanouchi et al. (1987)の雲識別手法(以下、山内法と称す)に基づき、初期的な事例解析を行ったので、その結果について報告する。

2. 解析に用いたデータと解析手法

今回の解析には1997年07月06日1342 UTCにおけるNOAA-14 / AVHRRのデータを用いた。まず、内陸部における南緯76°、東経5°付近の512×512画素(おおよそ558km×589km)を切り出した。次に、4×4画素毎に平均をとることで、新たに128×128スポットのデータを作成した。更に、4×4スポットを1ユニット(16スポット)とし、32×32ユニットを設定した。この1024個のユニットに対して、山内法を適用した結果が図1である。

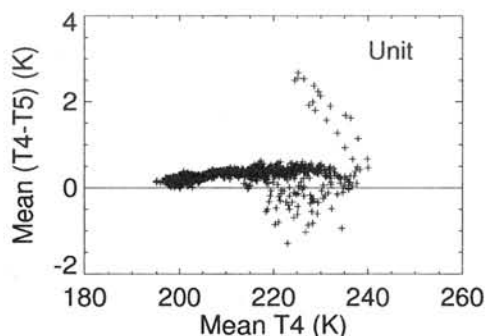


図1 極夜季内陸部におけるAVHRRデータの散布図。各ユニットにおける、チャンネル4の輝度温度とチャンネル5の輝度温度の差の平均値(縦軸)と、チャンネル4の輝度温度の平均値(横軸)の関係。また、図中には、補助的に輝度温度差の平均値が0Kとなる直線が引いてある。

図1より、衛星データは大きく3つのカテゴリに分類されることが分かる:(1)輝度温度差の平均値0K付近に分布するクラスタ(晴天域);(2)その上に広がるアーチ構造の片足となるクラスタ(高層の雲);そして、(3)輝度温度差の平均値が0K程度以下のクラスタ(低層の雲)。ここで、(2)と(3)のクラスタが同時に現れるのは、内陸部の特徴である。

このことは、チャンネル4の方がチャンネル5よりも、雲の透過率が大きく、大気層の深い部分に感度を持つということで説明ができる。すなわち、(2)では雲層の温度が地表面温度よりも低いので、 $T_4 - T_5$ が正となる。その一方で、(3)では、地表面付近の逆転層などの影響で、雲層の温度が地表面温度よりも高くなっているために、 $T_4 - T_5$ が負の傾向を示すと考えられる(Yamanouchi et al., 1987)。

3. 解析結果

図1を見ると分かるように、ユニットの輝度温度差の平均値のみを用いて、クラスタ进行分类するのは、それほど容易ではない。そのため、例えばMurata and Yamanouchi (1997)では、図1の縦軸と横軸の特徴量について相関係数を求め、それも含めた分類を行っている。一方、今回の解析では、各ユニットにおける輝度温度差の標準偏差値を計算し、対応する輝度温度差の平均値に対してプロットしてみた(Coakley and Bretherton, 1982)。その結果を図2に示す。

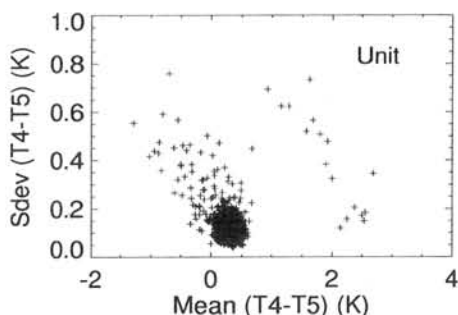


図2 図1と同様。但し、各ユニットにおける、チャンネル4の輝度温度とチャンネル5の輝度温度の差の標準偏差値(縦軸)と、チャンネル4の輝度温度とチャンネル5の輝度温度の差の平均値(横軸)の関係。

図2において、標準偏差値が小さい場合は、同じ特性量(T4-T5)を持つスポットの数が多く(均質)、一方、標準偏差値が大きい場合は、ユニットは様々なスポットで満たされている(不均質)ことが予想される。例えば、図1の晴天域(1)は、図2では平均値で0.25K、標準偏差値で0.125K付近に存在するが、低層の雲(3)は晴天域から標準偏差値の大きい方に向かって分布していることが分かる。これは、ユニットの内部を、晴天域と低層の雲域が、ばらつきを持って満たしていることを示唆する。一方、高層の雲(2)のクラスタについては、標準偏差値が比較的小さい(0.2K以下)部分が

あり、これはユニット内が高層の雲で一様に(一面)、満たされていると推定される。

4. まとめと今後の課題

NOAA-14 / AVHRR のデータを用いて、山内法により雲識別をする際に、輝度温度差の局所平均値のみならず、局所標準偏差値についても調べてみた。その結果、従来の山内法に局所標準偏差値の情報を加味することによって、解析ユニット内における雲分布の様子についても、推定できる可能性があることが示唆された。今後は、現場観測値と比較検証を行い、雲分布の様子を推定し、南極域における雲変動の解明を進めて行きたい。

謝辞

本研究で用いたHRPTデータの利用にあたっては、国立極地研究所の平沢尚彦助手のお世話になりました。深謝致します。

参考文献

- Coakley, J. A., Jr. and Bretherton, F. P. (1982): Cloud cover from high-resolution scanner data: Detecting and allowing for partially filled fields of view. *J. Geophys. Res.*, **87**, 4917-4932.
- Murata, A. and Yamanouchi, T. (1997): Distribution Characteristics of clouds over east Antarctica in 1987 obtained from AVHRR. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **75**, 81-93.
- Yamanouchi, T., Suzuki, K. and Kawaguchi, S. (1987): Detection of clouds in Antarctica from infrared multispectral data of AVHRR. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **65**, 949-962.

MODIS データを用いた GLI 用雪氷物理量抽出アルゴリズムの検証

堀 雅裕 (NASDA/EORC), 青木 輝夫 (気象研), K. Stamnes, B. Chen, W. Li (Stevens Institute of Technology)

Preliminary validation of GLI algorithms for retrieving geophysical parameters in cryosphere with MODIS data

M. Hori (NASDA/EORC), Te. Aoki (Meteorological Research Institute),

K. Stamnes, B. Chen, W. Li (Stevens Institute of Technology)

Two algorithms, for the discrimination of cloud/clear and snow/sea-ice and for the retrieval of snow grain size and impurities, prepared for GLI sensor onboard ADEOS-II satellite to be launched in Nov. 2001, were applied to 1 day (June 18) MODIS calibrated radiances and geolocation data. Preliminary analysis results showed that cloud pixels in polar regions were satisfyingly discriminated from other pixels, particularly snow pixels, and that reasonable spatial distribution of snow grain size and impurities were successfully retrieved.

1. はじめに

2001 年 11 月打ち上げ予定の環境観測技術衛星 ADEOS-II には、可視～熱赤外域に 36 個の波長帯をもつセンサー GLI (Global Imager) が搭載される。現在宇宙開発事業団では、地球環境モニタリングと気候システムの研究を目的として、大気、海洋、陸域、雪氷の 4 圏それぞれについて GLI データを用いて地球物理量の抽出を行うアルゴリズムの開発を行っている。雪氷圏分野においては、①雲/晴天および積雪/海水識別処理、②積雪粒径・不純物濃度抽出処理の 2 つのアルゴリズムを開発し、成果物の定常生産を計画している。本稿では、両 GLI 用アルゴリズムを、GLI に非常によく似た NASA の人工衛星 TERRA 搭載 MODIS センサーのデータに適用し、検証を行った結果について報告する。

2. 解析方法

2-1. 入力データ： アルゴリズム検証には、2000 年 6 月 18 日に取得された 273 シーン分の MODIS 校正済み輝度 (Level-1B) および衛星位置情報 (Geolocation) データを使用した。本解析では、気象条件や地理的条件の異なる広範囲の地域におけるアルゴリズム動作状況を検証するため、あらかじめ北半球全体が一つの画像に入る極投影済み輝度値データセットを複数シーンデータから作成し、アルゴリズムによる解析を行った。解像度は、北極点において 1 画素 10km 四方とし (2750 ピクセル×2750 ライン)、同一シーン上の複数画素が極投影画像上の同じ画素内に投影される場合は、平均化処理を行った。

2-2. アルゴリズム： 解析には、K. Stamnes (1999a, 1999b) によるアルゴリズムを使用した。雲/晴天および積雪/海水識別処理アルゴリズム内では、熱赤外域の輝度温度差、近赤外域の大気上端反射率などを閾値処理することにより画素毎に識別を行う。積雪粒径・不純物濃度抽出処理アルゴリズムでは、不純物濃度の増加が雪面の可視域反射率を下げ、一方積雪粒径の増加が近赤外域反射率を減少させることを利用し、可視、近赤外域の 2 チャンネルを用いて Lookup Table 法にて不純物濃度、積雪粒径を決定している。

3. 解析結果

図 1a に入力データの RGB 画像、図 1b に、雲/晴天および積雪/海水識別処理アルゴリズムの初期解析画像を示す。一部雲と積雪を識別しきれていないところがあるが、全体としては概ね極域の海水や積雪と雲の識別ができています。図 2a, b に、積雪粒径・不純物濃度抽出アルゴリズムの解析画像を示す。積雪粒径の分布パターンは、グリーンランド周辺部で標高を反映した分布が見られ、また海氷上においても融雪地域と見られる地域 (アラスカ北部海域) で粒径が大きくなっており雪面温度などを反映したとみられる合理的結果が得られている。不純物濃度も、全体として低濃度であり過去の地上での実測値にも近く、清浄地域である北極域における観測値としては合理的である。

4. 今後の課題

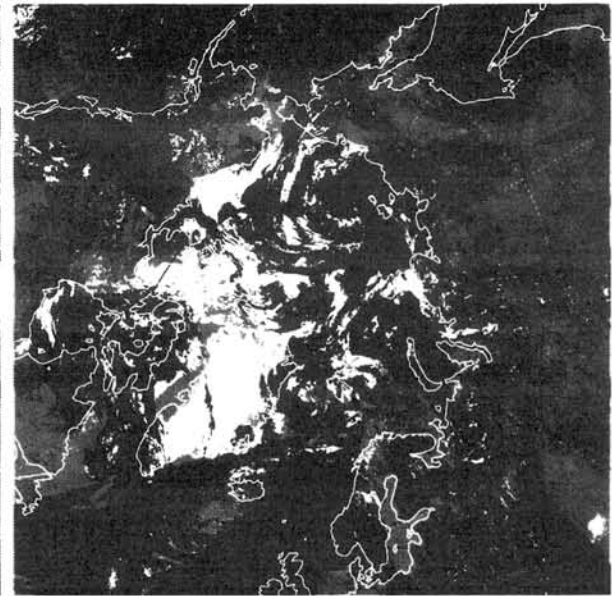
雲識別処理に関しては、cloud shadow がまだうまく検出できていない。今後 MODIS 純正の雲フラグ情報等と比較を行って、閾値の不具合修正等を行う予定である。一方、積雪粒径・不純物についても、グリーンランド上に積雪粒径の不連続なパターン (複数シーンの継ぎ目) が見えたり、高高度の氷床上で不純物濃度が抽出可能範囲外になるなどの不具合がみられた。現行アルゴリズムでは、積雪粒径は球形を仮定し、また標高を地上 0m に固定している。今後、現実的な非球形積雪粒子を考慮し、大気補正時に標高、気圧データを使用するなどの改良の余地がある。今回の検証は、北半球の夏季のデータを使用したため積雪域面積が限られており、春季や秋季に積雪域が大陸の低緯度側まで拡大した場合のアルゴリズム検証ができなかった。森林域では積雪検知や積雪粒径・不純物濃度の抽出が難しくなると予想されるため、今後、季節の異なるデータに対して、同様の解析を行い検証していく必要がある。

参考文献

- K. Stamnes, 1999a: ADEOS-II/GLI Cloud/Clear and Snow/Sea-ice Discriminators over Snow Surface, Algorithm Theoretical Basis Document (ADEOS-II/GLI), NASDA.
- K. Stamnes, 1999b: Snow Grain Size Retrieval in Polar and Mid-latitude Regions, Algorithm Theoretical Basis Document (ADEOS-II/GLI), NASDA.



RGB image: North Polar region

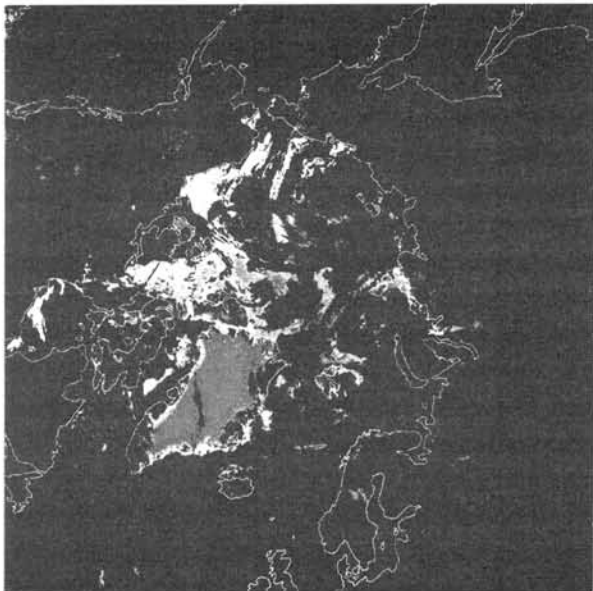


Cloud/Surface flag

high	conf. cloud: 3	cloud shadow	:17	sea ice	:31
middle	conf. cloud: 5	open ocean	:20	snow over ice	:41
low	conf. cloud: 7	bare land	:20	snow over land	:41

図 1a. MODIS Level-1B データから作成した北極域の極投影輝度値データセットの RGB 合成画像(グレイ階調)。見込角度 50° 以下のデータのみで作成。

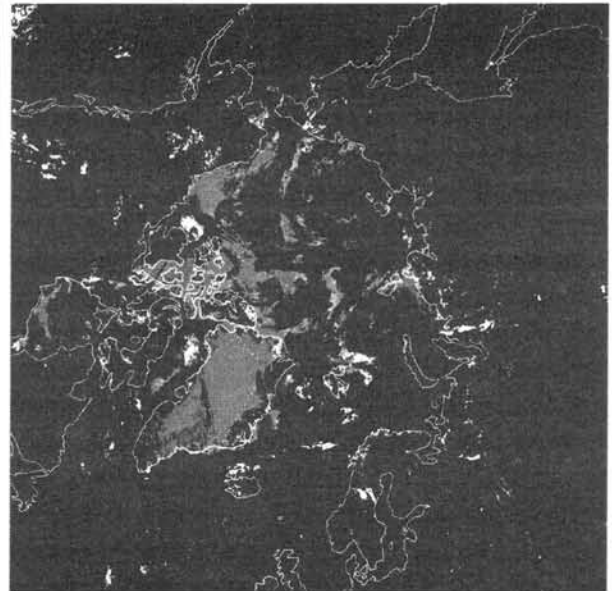
図 1b. 北極域極投影輝度値データセットを雲/晴天および積雪/海氷識別処理アルゴリズム(CTSK1)にて解析して得られた雲/地表面分類フラグの可視化画像。



Snow Grain Size (um)

-500	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
100:	Out of Range (<0.0 um)						
200:	Out of Range (>3000.0 um)						
400:	Non Snow covered area						

図 2a. 北極域極投影輝度値データセットおよび CTSK1 出力フラグを用いて、積雪域に対して積雪粒径・不純物濃度抽出アルゴリズム(CTSK2b1)を適用して得られた積雪粒径の可視化画像。



Snow Impurities (ppmw)

-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0.1:	Out of Range (<0.0 ppmw)						
0.2:	Out of Range (>3.0 ppmw)						
0.4:	Non Snow covered area						

図 2b. 北極域極投影輝度値データセットおよび CTSK1 出力フラグを用いて、積雪域に対して積雪粒径・不純物濃度抽出アルゴリズム(CTSK2b1)を適用して得られた積雪層中不純物濃度の可視化画像。

北極域の厳冬期に観測された凍雨の特徴

梶川正弘（秋田大）・佐藤 昇（大阪府教育センター）・小西啓之（大阪教育大）
・遊馬芳雄・上田博（北大院・理）・菊地勝弘（秋田県立大）

Characteristics of the ice pellets observed in the mid-winter season of the Arctic region

M. Kajikawa (Akita University), N. Sato (Science Education Institute of Osaka Prefecture), H. Konishi (Osaka Kyoiku University), Y. Asuma, H. Uyeda (Graduate School of Science Hokkaido University) and K. Kikuchi (Akita Prefectural University)

Ice pellets formed by the freezing of drops were observed in the mid-winter season of the Arctic region (Inuvik, Canada; Kiruna, Sweden; Ny-Ålesund, Norway). Ice pellets of 50~350 μm in diameter mostly had plates, spikes or bulges. Shattered frozen particles were observed in half or more of the ice pellets events. These features are qualitatively agreement with the results of freezing experiments of drops.

はじめに

厳冬期の北極域では、雪結晶に付着した凍結微水滴や直径400 μm を越えるような過冷却霧雨と共に凍雨または凍結微水滴がしばしば観測される。これまでの解析によると¹⁾、過冷却霧雨の最大直径は上空の水飽和層の厚さが増加するほど大きくなる傾向を示している。上空に0℃以上の気層は存在しないことから、このような霧雨、したがって凍雨の元になる水滴は、過冷却微水滴の衝突・併合過程で形成されたと考えられる。

ここでは、カナダのイヌビク（1995年12月）、スウェーデンのキルナ（1996年12月と翌年1月；1997年12月と翌年1月）およびノルウェーのニーオルスン（2000年1月）で観測された凍雨の特徴を述べる。

凍雨の形態と結晶構造

偏光顕微鏡観察によると多結晶の粒子が多かったが、単結晶の割合が多い凍雨イベントもあった。外形は球形の粒子が少なく、Bulge（図1のa）やSpike（図1のb；直径1/4以上の突起を持つもの²⁾）が多く見られた。その他に、表面から角板状または交角板状の成長が見られる粒子（図1のc）もあった。このような形態は、これまでの微水滴の凍結

実験の結果^{2),3)}と類似している。Shatteringは直径155 μm 以上の粒子で、多い場合には1割程度の数になった。

凍雨の粒径分布

観測された凍雨は、直径で400 μm 程度より小さいものが多く、中緯度で見られるようなmmサイズの粒子は見られなかった。イヌビクとニーオルスンで観測された凍雨の粒径分布を図2と図3にそれぞれ示す。ここ

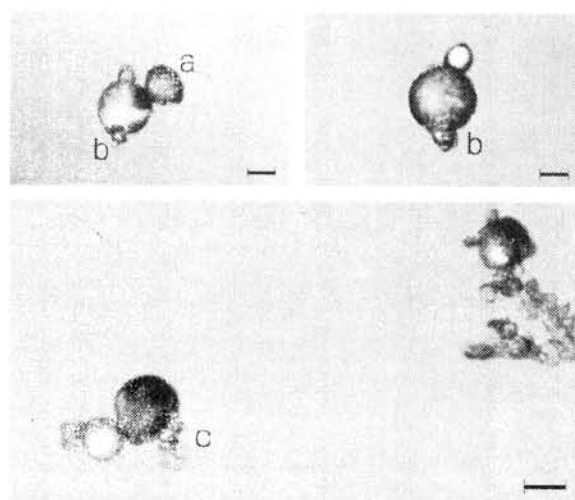


図1 1995年12月20日にイヌビクで観測された凍雨。a:Bulge付き, b:Spike付き, c:角板付き。スケールは100 μm 。

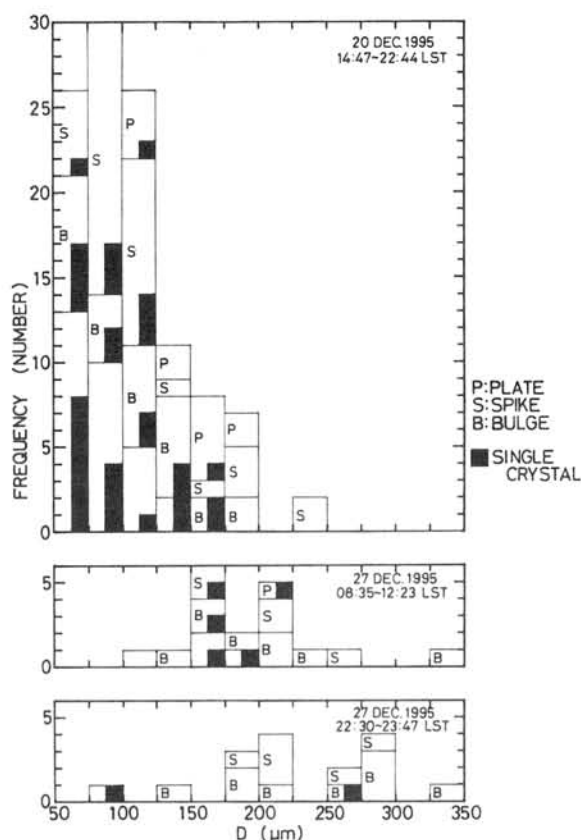


図2 1995年12月にイヌビクで観測された3凍雨イベントの粒径分布. P:角板付き, S:Spike付き, B:Bulge付き. 黒塗りは単結晶の粒子.

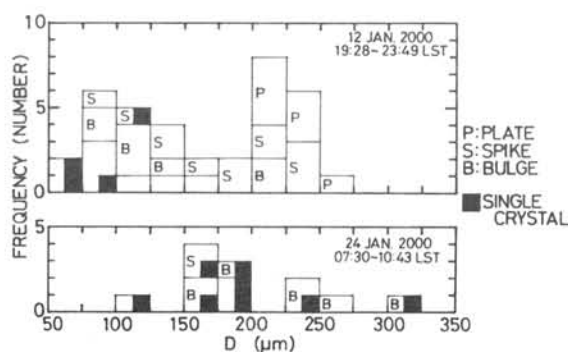


図3 2000年1月にニーオルスンで観測された2凍雨イベントの粒径分布(表示法は図2に同じ).

では直径 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上の凍結水滴で, 雪結晶に付着せずに単独で降った粒子のみを集計した. 図では角板付き (P), Spike 付き (S), Bulge 付き (B) を区別し, 単結晶の粒子のみ黒塗りとした.

これらの図によると, 単結晶の粒子は球形で粒径が小さいものに比較的多いことが分かる. 球形粒子は直径 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下に限られている. Spike を持つ粒子の多くは多結晶構造を示しており, 室内実験の結果に類似している^{2),3)}. 表面から角板状突起の成長が見られる粒子は, 粒径の大きいものに比較的多く見られる. 上空の相対湿度プロファイルと対比させた結果によると, 水飽和層 (相対湿度 98% 以上) 下限から地上までの間の氷飽和層が厚いほど, このような粒子の数が多いようである. これは粒子表面の突起からの成長に好条件となるためと考えられる.

まとめ

北極域の厳冬期に見られる凍雨を偏光顕微鏡で観察した結果, 以下のような特徴が見られた. (1) 中緯度の凍雨と異なり, 粒径は $400\text{ }\mu\text{m}$ 程度以下で小さい. (2) 過冷却水滴の凍結により形成される. (3) 凍雨の形態と結晶構造は, これまでの水滴の凍結実験と定性的に一致している.

- 1) M. Kajikawa et al. (2000). *Atmos. Res.* **52**, 293-301.
- 2) C. Takahashi (1975). *J. Meteor. Soc. Jpn.* **53**, 402-411.
- 3) C. Takahashi (1976). *J. Meteor. Soc. Jpn.* **54**, 448-453.

南極大陸とその周辺で観測されたブロッキングの鉛直構造

西井和晃 (東大海洋研), 中村尚 (東大理・地球フ),
平沢尚彦 (極地研), 木村龍治 (東大海洋研)

Vertical structures of blocking highs observed in and around Antarctica

K. Nishii(ORI, U-Tokyo), H. Nakamura(U-Tokyo/FRSAC),
N. Hirasawa(NIPR), R. Kimura(ORI, U-Tokyo)

A prominent blocking high developed in June 1997, over inland Antarctica at the leading edge of a stationary Rossby wave train emanating from the subtropics. Its vertical structure is compared with that of another strong blocking ridge that developed at a somewhat lower latitude over the south Pacific in August 1997. Anticyclonic anomalies associated with the August blocking extended up to 16km above the sealevel. They emanated a pseudomomentum flux apparently upward into strong cyclonic anomalies in the middle stratosphere. In contrast, the pseudomomentum flux associated with the June blocking was confined in the troposphere with no indication of its upward penetration into the stratosphere. It is conjectured that the August blocking which developed within a well-defined wave guide under the strong polar night jet was able to emanate a stationary Rossby wave train upward and thus exerted significant influence upon the stratospheric circulation. In contrast, the upward propagation of pseudomomentum from the June blocking high was suppressed under the prematured polar night jet. Still, the associated anticyclonic anomalies reached into as high as 20km above the sealevel in the presence of relatively weak stratification within a polar vortex where no solar heating was available in the ozone layer.

はじめに 1997年の6月20日前後に、南極大陸上空で形成されたブロッキング高気圧はこの年でもっとも強いもので、大陸内部に急激な気象の変化をもたらした(Hirasawa et al. 2000)。本研究ではこのブロッキングの鉛直構造や形成過程を調べ、それを同年8月にやや中緯度側で形成された別のブロッキングと比較する。

用いたデータ 1997年のNCEP/NCAR再解析データ(24時間毎)に、5日と31日の移動平均をそれぞれ施したものを使用した。5日の移動平均は移動性擾乱の直接的変動を除去する一方、31日の移動平均場はブロッキングに対する基本場(背景場)を与える。これら2つの移動平均場の差がブロッキング等に伴う準停滞性の低周波変動を表す。地衡風流線関数の偏差はこれらの高度場の差から求めている。また、元来は等圧面上のデータセットだが、 $\log p$ 座標を用いて実際の高度座標に近似に対応させた。

6月のブロッキング高気圧 この年の6月は平年よりも大陸上の西風が強く、南大西洋からの定常ロスビー波列が、大陸東部まで伝播しやすい状態にあった。このため非常に強いブロッキング高気圧が発達し(70°S, 50°E中心)、極

渦の中に侵入することができた(Fig.1)。そして蛇行した偏西風に伴う暖かく湿った北風が、大陸斜面に沿って上昇したため、雲が形成された。また、この強い北風が温度逆転層を破壊し、内陸の地表付近に急激な温度上昇をもたらした(Hirasawa et al. 2000)。

Takaya and Nakamura (1997, 2001)の定式化に従い、準定常ロスビー波に伴う偽運動量フラックスを求めた(Fig.3)。これによると6月15日から20日にかけて対流圏内のフラックスが顕著で、このブロッキングの形成にロスビー波の水平伝播が果たした役割の重要性を示唆している。しかし、上方へと向かうフラックスは認めらず、ブロッキングの影響が大規模波動として、成層圏には及んでいないことが分かる。しかしながら鉛直構造を見ると、ブロッキングに伴う高気圧偏差は成層圏中部の約20kmまで及んでいる。これは、極夜の成層圏極渦内ではオゾン加熱がないため、成層度が比較的弱く、このブロッキングのロスビー深度が約12kmと深いためと推察される。

8月のブロッキング高気圧 8月初めにやや中緯度よりで形成されたブロッキング(Fig.2)(55°S, 160°E中心)はブロッキング自体の背の高さは約16kmと、6月のケースに比べて

やや低い。しかし、対流圏のブロッキングから成層圏の低気圧性偏差へと向かう偽運動量フラックスがはっきりと認められ、ブロッキングの影響がロスビー波束として成層圏に深く及んでいることが分かる (Fig.4)。

まとめ 8月のブロッキングは丁度、発達した成層圏の極夜ジェットの下に位置しているのに対し、6月のケースでは極夜ジェットは十分発達していない。その上ブロッキングは極渦の内部に入り込んでしまっている。つまり、これら2つのケースでは、ブロッキングに対する背景場の西風構造が大きく異なり、ロスビー波束の鉛直伝播が8月では顕著だったのに対し、6月では弱かったと考えられる。しかしながら、極夜成層圏の極渦中での成層度が比較的低いため、たとえ成層圏への波動伝播がなくとも、対流圏のブロッキングの影響が成層圏まで及び、水蒸気や物質の輸送に少なからぬ影響を与えたものと推察される。

References

- Hirasawa, N., H. Nakamura, T. Yamanouchi.
Geophys. Res. Lett., 27, 1911-1914, 2000.
 Takaya, K. and H. Nakamura.
Geophys. Res. Lett., 24, 2985-2988, 1997.
 Takaya, K. and H. Nakamura.
J. Atmos. Sci., 58, 2001, in press



Fig. 1. Geostrophic stream function anomalies (every $3 \times 10^6 m^2/s^2$) on 19 June, 1997 at 8000m in altitude (log p coordinate).

Solid and dashed lines indicate anticyclonic and cyclonic anomaly, respectively. Blocking anomaly center is marked by a closed circle.

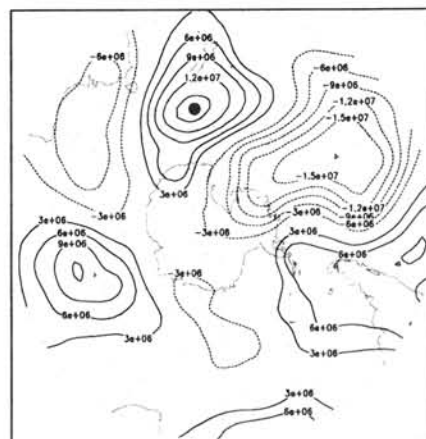


Fig. 2. Same as Fig. 1, but on 06 August, 1997.

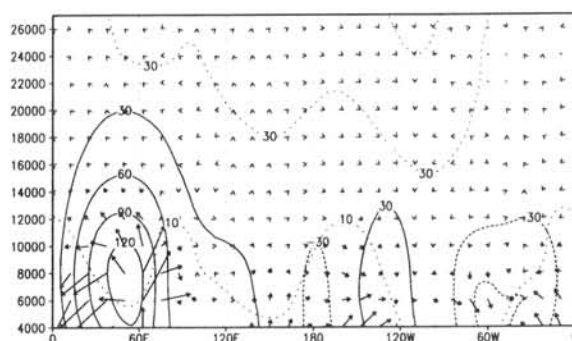


Fig. 3. Zonal and vertical cross section of geostrophic stream function anomalies, $T-N$ flux, and zonal wind component at $70^\circ S$ on 19 June, 1997.

Geostrophic stream function anomalies have been multiplied by the square root of the pressure at each level. Solid and dashed lines indicate Anticyclonic and cyclonic anomalies, respectively (every $30 \times 10^5 m^2/s^2$). Arrows indicate a flux of pseudomomentum of stationary Rossby waves (Takaya and Nakamura 1997, 2001), whose vertical component is expanded 100 times. Dotted lines indicate 31-day moving-averaged zonal wind component (10, 30, 50, 70 m/s).

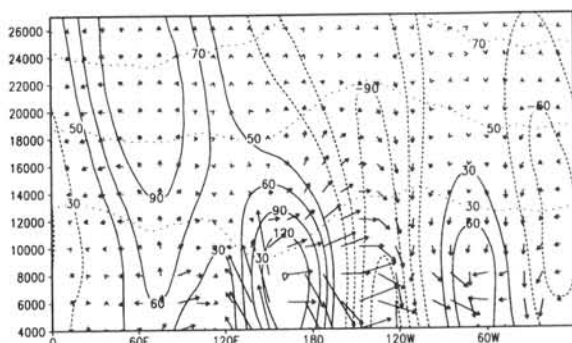


Fig. 4. Same as Fig. 3, but at $60^\circ S$ on 6 August.

冬期ブロッキングが南極の海氷、積雪に与える影響

榎本浩之、館山一孝（北見工大）、S.スーディク（北大低温研）、本山秀明（極地研）、
亀田貴雄（北見工大）、東信彦（長岡技科大）、藤田秀二（北大工学部）

Impacts of Winter Blocking on the Sea Ice and Snow Accumulation in the Antarctic

H.Enomoto, K.Tateyama, (Kitami Inst. of Tech.), S.Surdyk (Hokkaido Univ.), H.Motoyama (NIPR),
T.Kameda (Kitami Inst. of Tech.), N.Azuma (Nagaoka Univ. Tech.), S.Fujita (Hokkaido Univ.)

Abrupt warming is often observed in winter in the Antarctic. When a significant rise of temperature in the polar region is induced by atmospheric blocking, warm air advection lasts several weeks and its dynamic and thermodynamic influences on sea-ice distribution is great. Concurrent increase of snow depth was observed at Dome Fuji and also Syowa Station in the case of 1997. The area and intensity of blocking affect on the cryospheric conditions in the Antarctic. This study describe their evidences from the four years record.

はじめに

冬期の南極大陸上空の及び氷床表面の昇温現象は、ブロッキングとの関連、移流計算など研究が進められているが、南極の冬期の気候を特徴づける現象であると考えられる。この現象により冬期平均気温（その変動は年平均気温にも強く反映）も影響を受けている。氷床温度についてはこれまでに事例解析を行なっていたが、雪氷圏を構成する積雪、海氷についてはどうか。本研究ではこの大気現象に伴って雪氷圏がどのような影響を受けるか調べた。

データ

使用したデータは、NCEP/NCAR 再解析データによる気象データ、DMSP SSM/I マイクロ波放射計輝度データ、NSIDC 海氷密接度データ、ドームふじ AWS 気温データ、ドームふじ及び昭和基地の雪尺観測データである。

大気循環

1994年から1997年のドームふじのAWSデータをもとに、顕著な昇温イベントを選び出し、その期間を含む500hPa面高度を図1に表した。東南極上空で等圧線が高緯度に蛇行している様子がわかり、暖気移流が予想される。また地表付近では、低気圧の通過により短期の気圧下降はあるものの10日間の平均気圧は上昇している。

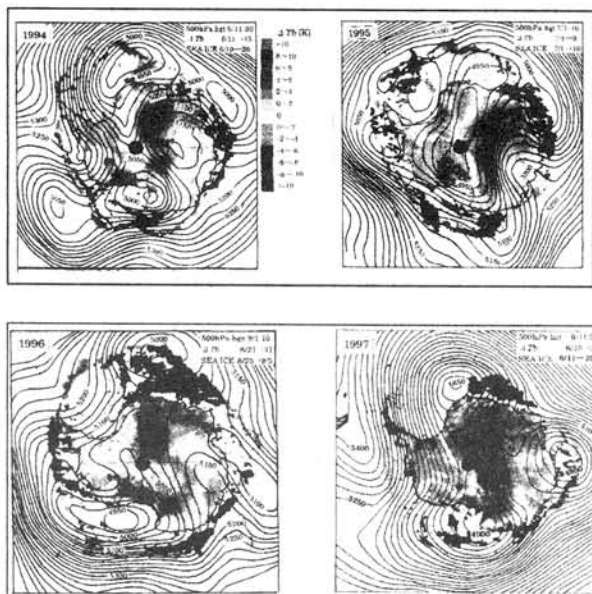


図1 1994-97年の昇温イベントの際の500hPa面高度、氷床表面温度と海氷域の変化

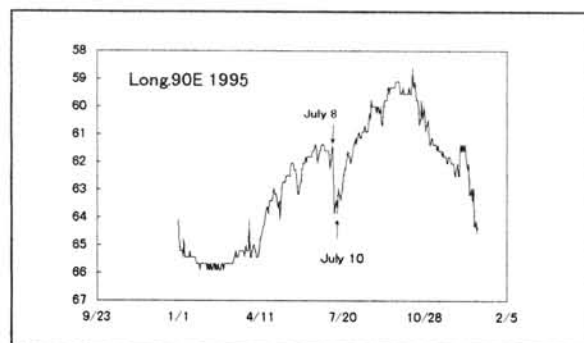


図2 1995年の経度90Eの海水縁の変化。昇温イベントに対応して急激な変化が起きている

氷床温度

図1の氷床上のパターンはマイクロ波の輝度変化より調べたもので、氷床の表層の雪温の変化を表している。500hPa面に見られる循環に対応して昇温域が広がっていることがわかる。

海氷変動

次にこれらのケースにおける海氷の変化を調べた。図1の南極周辺の海上で黒く表したところが海氷密度の10%以上の低下が記録されたところであり、灰色で示したところは密度が増加したところである。やはり循環パターンとの一致が見られ、海氷変動にも影響を与えていることがわかる。

地域毎の海氷変動

各年について海氷域の現象が顕著であった例を示す。ここでは海氷密度の変化でなく、海氷縁の緯度の変化を調べた。図2に1995年の経度90Eの海氷縁の変化の例を示す。昇温現象の際に急激な海氷縁の後退が見られる。図3には経度60Eにおける海氷縁の緯度の4年間の変化を示す。1996年の9月のブロッキング後、海氷は拡大することなく拡大期間を終えた。1997年は、経度30E付近で海氷変化が顕著であった(図4)。

積雪涵養量

ドームふじで観測された1995-97年の雪尺データを気温とともに図5に示す。冬期に大きな値が記録され(図中ひし形マーク)、1観測インターバル(半月)の間に年間の雪面上昇の値の30%近くを記録することもある。これは冬期に数回の顕著な水蒸気輸送がおきていて、年間涵養量に大きく寄与する事を示唆する。1997年の6月は昭和基地よりドームにいたる循環パターンであり、昭和基地、ドームふじともに昇温イベントと同時期に大きな涵養を示していた。1997年においてドームにて新たな積雪が観測された期間をハッチで示した(図6)。このうちの冬期の2回が年間涵養量の半分以上近くをもたらした可能性がある。

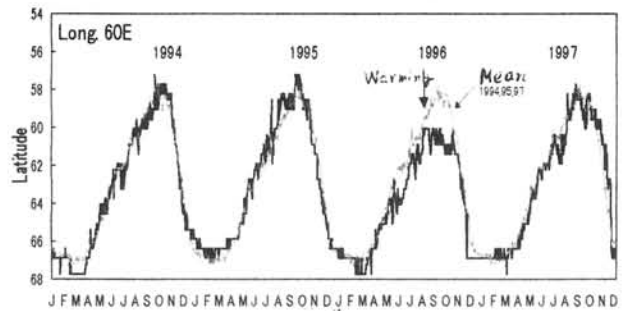


図3 経度60Eにおける海氷縁の緯度の4年間の変化を示す。1996年の9月のブロッキングをマークした。

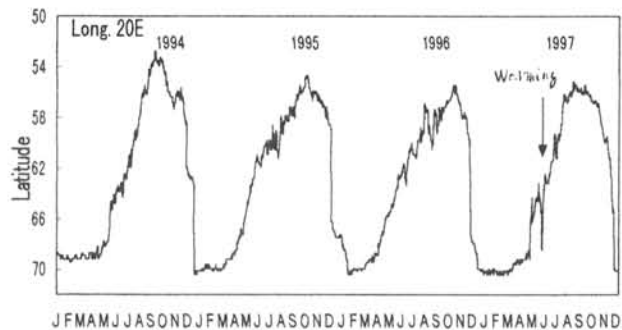


図4 1997年、経度20E付近で海氷変化が顕著であった。

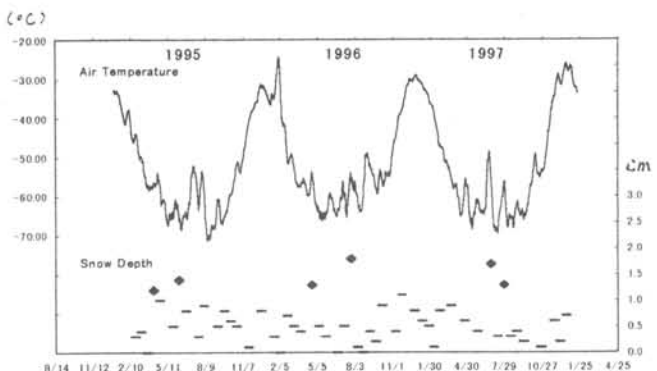


図5 ドームふじの1995-97年の雪尺データ及び気温。冬期に数回の顕著な増加が記録されている。

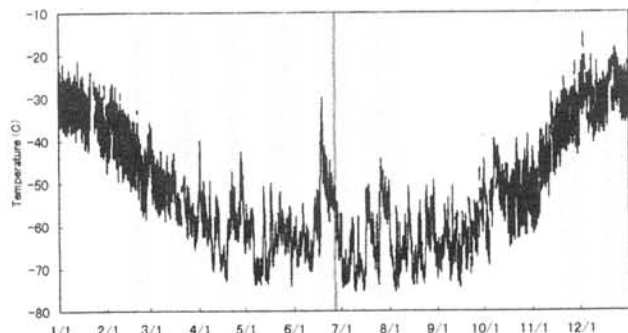


図6 1997年におけるドームの気温と新たな積雪が観測された期間(ハッチで示す)。

南極昭和 MST レーダープロジェクト (PANSY)

佐藤 薫・堤 雅基・麻生武彦 (極地研)・佐藤 亨 (京大情報)・山内 恭・江尻全機 (極地研)

The project of Antarctic Syowa MST radar

K. Sato, M. Tsutsumi, T. Aso (NIPR),
T. Sato (Kyoto Univ), T. Yamanouchi and M. Ejiri (NIPR)

We propose the construction of an MST (Mesosphere, Stratosphere and Troposphere) radar at Syowa station in the Antarctic. This radar provides three dimensional winds with fine spatial and time resolution and high accuracy, which are essential to examine the dynamics and mixing processes in the middle atmosphere. Moreover, since the MST radar covers the regions below and above the middle atmosphere, dynamical coupling between these regions will be elucidated.

1. はじめに

中層大気は成層圏から下部熱圏までを含む10~100kmの高度領域である。極域中層大気は、他の緯度帯と同様、地面や対流圏に起源を持ち、上方に伝播する様々な波動の作用が重要であると共に、極域特有の電離圏擾乱の影響を受ける領域である。地表に到達する紫外線量を支配するオゾン層が存在し、春季にはオゾンホールが出現する領域でもある。しかし、これまで、人工衛星観測等で捉えられる下部成層圏での大規模な現象に着目した研究が主に行われてきたのみで、小規模な波動や乱流の作用や、上下の高度領域とのつながりは、殆んど分かっていないといっている。

最近のラジオゾンデ観測データを用いた研究によれば (Yoshiki and Sato, 2000, J.G.R.), 小規模大気擾乱は南極と北極では異なる特性を持つことが示唆されており、両極を独立に調査する必要がある。

そこで、本研究グループは、1kmから400kmに及ぶ広い高度領域が、優れた時空間分解能で、かつ、高精度で測定できる MST (Mesosphere, Stratosphere, and Troposphere) レーダーを昭和基地に設置することを提案する。

2. MST レーダーの特徴

検討中の MST レーダーは、直径100mの円形領域を占め、約500本の八木アンテナのアレイで構成される、周波数約50MHzの大型レーダーである。滋賀県信楽町にある京大の同タイプのレーダー (MUレーダー) 等の研究成果をもとに検討した結果、対流圏、成層圏、中間圏、電離圏を全て観測できる最低ピークパワーは500kWであることが分かった。これは最低約120kWの消費電力が必要であることを意味する。

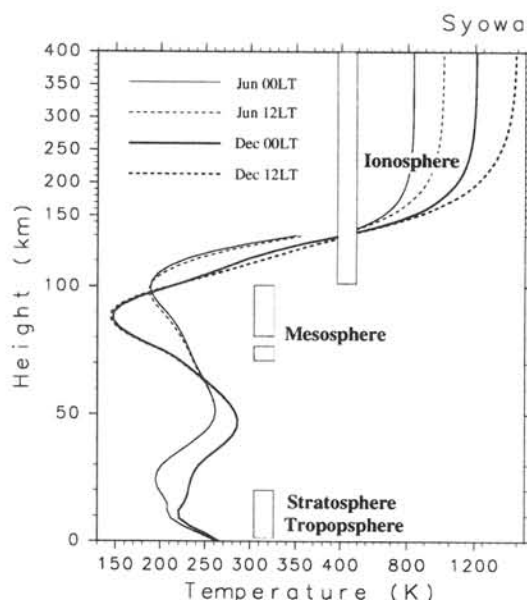
このレーダーでは、対流圏及び中層大気における、微弱な鉛直流を含む、風の3成分が連続観測可能である。したがって、衛星やラジオゾンデでは不可能だった大気擾乱の時系列解析が行える。また、複数の高度領域を同時観測可能であるため、大気の上下のつながりに関する知見が得られよう。また、他の測器では不可能な、オゾン等の物質混合を調べる上で重要な、大気乱流に関する研究も可能であ

る。また、電離圏観測を同時に行うことで、オーロラに代表される極域固有の電磁擾乱と中層大気の関係性を解明する上で、強力なデータが取得できる。

3. 学術的意義

前節に述べたように、MSTレーダーはかなり大規模な測器であるが、その実現の意義は大きい。まず、複数の高度領域をカバーすることから、分野を越えた学際的な研究が可能である。他の様々な測器が整備されている昭和基地に設置することで、複数の測器による包括的な研究観測も可能となる。

MUレーダーを用いたここ数十年の研究により、乱流、対流、波動、不安定、循環などをキーワードとして、中緯度の対流圏・中層大気・電離圏での多くの発見やメカニズムの解明がなされ、定量的、統計的理解へと発展してきた。極域中層大気では、大規模な温度構造や上下の境界条件が、中低緯度とかなり異なるため、昭和基地での MST レーダー設置により、新たな現象の発見や、極域固有のエネルギーや運動量バランスに関する定量的把握が期待できる。



高度0~400kmの大気温度プロファイルと、検討中のMSTレーダーで観測可能な高度範囲

Thermal Dynamic Process in the Scandinavian Ozone Loss

Han ZOU, Libo ZHOU and Yongxiao Jian

Institute of atmospheric physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

1. Introduction

Arctic ozone loss has been identified and studied by ground-based and air-born observation, chemical analysis and numerical simulation. The similarities as the Antarctic ozone hole in morphology and mechanism were expected for the Arctic ozone depletion (e.g. Brune et al., 1991). For example, under the condition of strong and late vortex, the low stratospheric temperature and associated ozone depletion, in 1994, 1996 and 1997 winter, were identified and studied. (Coy et al., 1997, Kundsén et al., 1998, Manney et al., 1995, Manney et al., 1997, Müller et al., 1997). Recently, Waibel et al. (1999) revealed the denitrification process as a new contributor to the Arctic ozone loss. Other case studies for 1991/92 winter showed another example of the Arctic ozone deficit, the early occurrence of the vortex and ozone minimum in January, and the low altitude of ozone deficit on 425K potential temperature surface (McCormack et al., 1997, Gathen et al., 1995). Orsolini et al. (1995) showed, in a model study, a strong ozone loss below 20 km in 1991/92 Arctic winter. These studies for 1991/92 indicate the processes of ozone loss different from the Antarctic ozone hole.

Scandinavia is an important region, the UVB problem caused by ozone loss over this region therefore influence the surface biological systems. Additionally, Scandinavia is in the Arctic region, it is also important to study ozone behaviors over this region for, maybe partly, understanding the mechanism of ozone deficit in Arctic. The study in this article is attempting to provide a climate averaged picture of ozone variation and local deficit in Scandinavia, and reveal the thermal dynamic processes related to the local ozone loss.

2. Data and methodology

Data used in this study are TOMS version 7 (CD-ROMs available from NASA/Goddard Space Flight Center) in 1979-1992 for total ozone, and NCAR/NCEP reanalysis (CD-ROMs available from NCAR) for the atmospheric circulation and SST distribution. The monthly values are averaged from the above data sets. An area-weighted ($\cos(\text{latitude})$) mean is applied in two regions, 0-10°E for the ozone deficit and 5°W-5°E for sea surface temperature (SST) and heat flux, at 55-65°N. The latitudes selected here are mainly under the consideration of the atmospheric baroclinicity. To remove the zonal averaged chemical and dynamic effects induced by the solar seasonal cycle, a zonal deviation is applied for total ozone and surface variables except SST. The zonal deviation is defined as subtraction of zonal average in 55-65°N from the area weighted averages in corresponding regions. The discussions on the seasonal cycles are based on the averages for each month in 1979-92.

3. The Scandinavia ozone loss

The global distribution of zonal ozone deviation indicates a severe ozone loss over the Scandinavia and adjacent region in winter (December, January and February). The maximum of the ozone loss is located at c.a. 64°N, 8°E, covering central Norway and the neighboring Norwegian Sea, with strength over -50 DU, equivalent to c.a. 15% loss of the average total ozone. However, the global summer (June, July and August) zonal ozone deviation does not show the same strong ozone loss over this region, with ozone deficit about 0 to -0.5 DU. The seasonal variation of the area weighted mean ozone over Scandinavia has a maximum (397 DU) in April and minimum (281 DU) in November. The seasonal variation of local ozone loss described by zonal deviation shows the strongest ozone deficit in winter (-54.3 DU, January, equivalent to 16% averaged total ozone).

4. The North Atlantic Current SST

In the global winter (December, January and February) SST, in 1979-1992, the strong northward heat transportation in the North Atlantic causes 6.0°C contour as a tongue northward along the Norwegian coast until the middle Scandinavian, while the SST in the west of the North Atlantic is about 0°C, a 6°C difference between the east and west North Atlantic SST. However, in summer, the contrast between the east and the west of North Atlantic SST is almost 0. The average SST in 0-10°W and 10-70°W at 55-65°N are calculated as SST_1 and SST_2 , and the SST contrast $SST_1 - SST_2$ is defined as ΔSST . In analysis on seasonal variations of SST_1 , SST_2 and ΔSST , ΔSST has a maximum in winter as 8.03°C (in January) and minimum in summer as 3.31°C. Comparing the seasonal cycles of SST contrast ΔSST and zonal ozone deviation, the maximum and minimum of the SST contrast occur in the same months as the minimum (January) and maximum (July) of zonal ozone deviation, respectively, and a correlation coefficient -0.96 are obtained for the two seasonal cycles. Furthermore, the correlation analysis is applied between the SST contrast and zonal ozone deviation for 168 monthly values in 1979-1992, and results in a correlation coefficient -0.70. Therefore, the high SST contrast between the east and west of North Atlantic may have strong impact on the ozone deficit over the Scandinavia.

5. Surface-to-atmosphere heat fluxes

The surface-to-atmosphere heat fluxes and its zonal deviation are analyzed in relation with the zonal ozone deviation. The total heat flux reaches the maximum in January (94.96 W/m² and ozone loss, -54.3 DU) and minimum in July (-37.88 W/m² and ozone loss 1.9 DU). The relationship of seasonal zonal ozone deviation to the total heat fluxes results in correlation coefficient -0.90. This result shows a strong relationship between the ozone deficit in Scandinavia and heating process over the North Atlantic.

6. Upward mass transfer

The surface heating would finally result in an upward mass transfer. The seasonal variation of area weighted potential temperature over 0-10°E, 55-65°N, clearly show that, below 330°K, isentropic surfaces have a lowest position in July, lift until highest altitude in January, and thereafter, lower to the minimum height. The isentropic surfaces above 330°K have the same rising tendency from July to January and lowering from January to July, but with much lower ascent and descent speeds, compared with those below 330°K. The upward mass transfer below 330°K from July to January would make an incursion of poor ozone air into the selected air column at lower level, and the advection at about 330°K would take rich ozone air out of this area. The air mass lifting and ozone divergence close to 330°K surface reach maximum in January, there the local ozone loss gets maximum in this month. It is obvious that the upward mass motion described by isentropic surfaces is closely related to the seasonal variation of local ozone loss over the Scandinavia. Furthermore, 1991/92 ozone sonde data in Scandinavia shows a major seasonal ozone loss at 11 km a.s.l. (close to 330°K).

7. Conclusions

Analysis on TOMS ozone and NCEP atmospheric circulation data reveals the following:

- 1) A winter ozone loss greater than -50 DU is detected over Scandinavia on a climate basis, 1979-1992, with a maximum ozone loss -54.3 DU in January (equivalent to 16% averaged total ozone of the same month);
- 2) The seasonal ozone loss over Scandinavia is closely correlated to the west-to-east SST contrast in the North Atlantic, with correlation coefficient -0.96;
- 3) The seasonal variations of surface to atmosphere heat fluxes is correlated to the ozone loss over Scandinavia, with correlation coefficient -0.90;
- 4) The ozone loss is closely related to the upward mass transfer.

Therefore, the upward mass transfer induced by the North Atlantic current heating may have great contribution to the ozone loss over Scandinavia in winter.

Chinese Antarctic Inland Traverses

Li Yuansheng, Qin Weijia*, Sun Bo, Kang Jiancheng, Yan Ming and Wen Jiahong

Polar Research Institute of China (451 Jinqiao Road, Shanghai 200129, P.R.China)

*Chinese Antarctic and Arctic Administration (1 Fuxing Road, Beijing 100860, P. R. China)

1. General

According to the ITASE plan, Chinese Antarctic Expedition Party should be cover the route from Zhangshang Base to Dome A and to South Pole. Three inland traverses already have been conducted by CHINARE in the past 4 years (from 1996 to 1999). The turning points for these three traverses were DT000 (LGB65, 71°53'S, 77°57'E), DT085 (73°22'S, 77°00'E) and DT416 (79°16'S, 76°59'E, 3,931m a.s.l.), respectively. The members of Chinese Third Inland Traverses Party were 10 people, including 2 CCTV reporters. And the facilities of the traverse were 3 snow vehicles made in Germany and 6 big sleds (each load 10-15 t). Research observations on the traverses included: a. snow accumulation stakes measurements for every 2km and for five 6 × 6 stake nets. b. 4 shallow ice cores drilled (102.6m at DT401, 82m at DT263, 52m at DT085 and two 50m cores at DT000), part of DT401 ice core samples were shipped to Japanese National Institute of Polar Research for chemical analyses and to Copenhagen University for d18O. c. pit work. d. Ice Radar soundings were performed continuously along the traverse from the cost to the turning point on the Dome A plateau. e. surface snow sampling at every 10km and low troposphere air sampling at every 100km. f. GPS measurements, and g. meteorological observations.

2. Some Preliminary Scientific Results

$\delta^{18}\text{O}$ value variety for drifting snow samples on the profile is good consistent with the altitude. And nitrate concentration for drifting snow is increasing along with altitude, near 800ppb is occurred at DT401. Freon in lower troposphere in Antarctic ice sheet is 10% higher than lower latitude in southern hemisphere. The snow accumulation is about 12cm/year at DT401 (3800m a.s.l.), which is derived from the pit work at DT401. 102.6m ice core at DT401 is expected to have more than 10 hundred years climate records.

Radar soundings were performed continuously along the traverse from the sheet edge to the turning point on the polar plateau. Ice sheet thickness and snow/ firm layer structure on the profile were measured. Preliminary result shows the ice thickness at DT401 point is close to 3000m.

3. Further Plans

The program of Chinese Antarctic Inland Traverse in next five years (2001 to 2005) is being drawn by Chinese Antarctic and Arctic Administration (CAAA). Following are very expected:

- a. To search the summit of Dome A in next voyager (2001-2002 season, 18th CHINARE).
- b. To carry on 500-800m ice core drilling at the summit of Dome A (2002-2003, 2003-2004)
- c. To construct inland station at Dome A for deep ice core drilling (2005-2010)

High Concentration for Nitrate in Drifting Snow, in Dome A Plateau, Eastern Antarctic Ice Sheet

Li Yuansheng*, Y. Fujii#, O. Watanabe#, H. Motoyama#, Tan Dejun*, Yan Ming*,
Sun Bo*, Wen Jiahong*, Kang Jiancheng*, Wang Dali* and Liu Leibao*

* Polar Research Institute of China (451 Jinqiao Road, Shanghai 200129, P. R. China)

National Institute of Polar Research (1-9-10 Kaga, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515, Japan)

Drifting snow samples were collected on the profile from Zhongshan Base to Dome A in 1998/1999 season. Chemical analyses data shows there was very high concentration of nitrate component at Dome A plateau. Comparing with the profile from Syowa to Dome Fuji in 1996/1997, the nitrate in the Antarctic region is increasing very much in recent two years. The rate of increasing of nitrate seems much more than early of 1990's.

High nitrate concentration in fresh snow in Antarctic ice sheet may indicate there is high content active nitrogen compounds including nitric acid in the stratosphere clouds above Antarctica. Several important chemical processes, related with nitrogen compounds, that can destroy the ozone in the stratosphere, will product the nitric acid. Nitric acid is a relatively stable "sink" for many more active forms of nitrogen, soaking them up and eventually settling to lower levels and raining out of the air. And nitric acid himself is also active species.

It is well known that the chlorofluorocarbons rise into the air and destroy ozone layer. However after middle of 1990's, CFCs concentration in the atmosphere is decreased. But the ozone hole still has being extend in recent a few years, it is not only in Antarctica but also Arctic. High concentration of nitrate in fresh snow in Antarctic plateau shows the active nitrogen compounds in upper air play much more important role than chlorofluorocarbons in ozone depletion in recent a few years. The active nitrogen compounds with chlorofluorocarbons that still remain in atmosphere develop and help create the ozone hole.

Stratigraphy and firn Density at LGB65 in Princess Elizabeth Land, East Antarctic Ice Sheet

Wen Jiahong¹, Kang Jiancheng¹, Wang Dali¹, Sun Bo¹, Li Zhongqin², Li Jun³

(1. Polar Research Institute of China, Shanghai 200129, China; 2. Lanzhou Institute of Glaciology and
Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. Antarctic CRC and Australian
Antarctic Division, Hobart 7001, Australia)

During the first Chinese Antarctic inland expedition in January, 1997, glaciological data were collected along the research route, and two 50m firn cores were drilled at LGB65 (71° 11' 11" S, 77° 21' 5" E, 2320m a.s.l.) in Princess Elizabeth Land, East Antarctic Ice Sheet. Stratigraphic observation and firn density measurement of one of the two firn cores and a snow-pit were conducted, and the major conclusions were obtained as follows:

1. Snow densification process of snow/firn there belongs to cold type densification. The depths of the first and the second critical density are 10.4m and 60.4m respectively.
2. The depth hoar was not well developed. There are only a few depth hoar layers with thickness of several centimeters, and most of them overlie or underlie the ice crusts.
3. According to fine, medium and coarse firn and their ratios, 13 grain-size types are divided from fine to coarse firn. Grain-size profile of the snow/firn layer at LGB65 can be divided into four sections: 0-7.76m, 7.76-18.35m, 18.35-41.19m, 41.19m to the bottom of firn core. Grain-size variations are mainly controlled by seasonal or interannual climate fluctuation.
4. The relative light transmission variation of the firn core is not clear above 16.0m, and then, gradually rhythmic light transmission occurs that it can be considered as an indicator for identifying annual layers.
5. There are relatively abundant ice crusts with average number of 7 per meter in the snow stratigraphic profile. However, two firn core sections with total length of 5.21m only contain firn without ice crust. Ice crusts can mainly divided into three types: radiative crust, wind crust and multi-layer crust. Among them, radiative crust is of importance for determining annual layer boundaries.
6. The process of firnification at LGB65 has been examined with two empirical models established by Craven and Allison (1998), Kameda and others (1994). The results show that LGB65 is not located in the strong katabatic-wind and low accumulation rate area. The LS model established by Craven and Allison (1998) has wider applicability and higher reliability. In the upper part of the LGB65 firn core, the annual accumulation rate derived by the LS model is consistent with the result from firn core dating through the stratigraphic features, which reflects that the stratigraphic method has considerable reliability.
7. On the basis of various stratigraphic features observed, the LGB65 firn core is dated preliminarily. It is concluded that the annual accumulation presented increase trend over the last 250 years. The average accumulation of the whole profile was 131.9mm a^{-1} . In 1960's annual accumulation was lower than the average value, and then increased strikingly since the middle of 1970's.

Cosmogenic ^{10}Be and ^{36}Cl in GISP2 and Siple Dome ice coresKunihiko Nishiizumi¹ and Robert C. Finkel²¹Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley, CA 94720-7450, USA
(kuni@ssl.berkeley.edu),²CAMS, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA 94550, USA
(finkel1@llnl.gov)

We are measuring continuous records of ^{10}Be ($t_{1/2}=1.5\times 10^6$ yr) and ^{36}Cl (3.0×10^5 yr) concentrations in the GISP2 (Greenland) and the Siple Dome (Antarctica) ice cores. We have made over 2,000 ^{10}Be and ^{36}Cl measurements. All chemical separations and sample preparation were done at University of California, Berkeley and all accelerator mass spectrometry (AMS) measurements were performed at Lawrence Livermore National Laboratory. Although the data are still incomplete, several interesting features are already apparent.

The long-term ^{10}Be profiles in both the GISP2 and Siple Dome cores match very well. During the Holocene these profiles are also well correlated with atmospheric $\Delta^{14}\text{C}$ obtained from tree rings. A detailed comparison of decadal and bi-decadal ^{10}Be and $\Delta^{14}\text{C}$ profiles will improve our understanding of carbon cycle models, will allow us to investigate the role of ocean circulation and other processes in controlling climate and will aid in determining the depth-age relation in the ice core. In addition, the good agreement between ^{14}C in tree rings and ^{10}Be in ice enhances our confidence in using ^{10}Be as an indicator of the cosmic ray flux beyond the ^{14}C time period.

The ^{10}Be and ^{36}Cl concentrations in polar ice is controlled by many factors including: the pathways of atmospheric mixing, the nature of transport processes between the atmosphere and the ice sheet surface, the intensity of the extraterrestrial cosmic ray flux, the magnitude of solar activity and the strength of the geomagnetic field. North-South comparisons provide information about of these processes by allowing a quantification of the relative importance of global and local ^{10}Be and ^{36}Cl in the ice sheet. The ^{10}Be concentration in the Siple Dome core is about 30% higher than in the GISP2 core, while the ^{10}Be flux at Siple Dome is about 40% lower. We found that the $^{10}\text{Be}/^{36}\text{Cl}$ ratio is relatively constant in each core ($\pm\sim 15\%$). However, the ratio in the Siple Dome core is a factor of two higher than at GISP2, indicating that the ^{36}Cl flux at Siple Dome is nearly a factor 4 lower than that at Greenland Summit. Although, as of yet we have no good explanation for this low ^{36}Cl influx at Siple Dome, the difference between Greenland and the Antarctic does emphasize that there are real differences in the deposition of cosmogenic nuclides in the two polar regions, suggesting a non-global component at high latitudes or a difference in accumulation mechanism into the ice due to different chemical properties of the two elements.

In contrast to this evidence for a non-global component of cosmogenic nuclide deposition, we also see possible evidence for geomagnetic effects in the GISP2 data. This would indicate that there is a global component to deposition in polar regions. At about 40 ka, at the same time as the Las Champs geomagnetic excursion, there is a large increase in ^{10}Be and ^{36}Cl content in the GISP2 core. If this interpretation holds up, it would indicate that there is a strong global component at high latitudes. The other possibility for the enhancement of ^{10}Be and ^{36}Cl production is a change in the cosmic ray intensity around 41 ka. Further work will be required to fully understand these deposition patterns.

The annual-resolution ^{10}Be profiles in the GISP2 and Siple Dome cores do show a correlation with the 11 year solar cycle. However, the correlation is not as good as we had hoped. Since our data do not yet cover very many solar cycles, we have not diagnosed the cause of the discrepancies between the measurements and our expectations. Errors in annual layer counting used to determine the depth-age relation for the core could be one cause of the mismatch between the sunspot and ^{10}Be records.

The comparison of continuous measurements of ^{10}Be and ^{36}Cl in Dome-F ice core to GISP2 and Siple Dome cores is important for understanding South-North and inland-coast climate influences as well as for understanding polar-global atmospheric circulation.

This work was supported by NSF grants OPP'97-25257, ATM 97-07492, and under the auspices of the U.S. Department of Energy by the University of California Lawrence Livermore National Laboratory under contract No. W-7405-Eng-48.

静水圧下における極地深層コアの力学試験

宮本 淳, 下原喜美子, 百武欣二, 庄子 仁 (北見工業大学)

Mechanical tests of deep ice core under hydrostatic pressure

Atsushi MIYAMOTO, Kimiko SHIMOHARA, Kinji HYAKUTAKE, Hitoshi SHOJI

(Kitami Institute of Technology)

Uniaxial compression tests under hydrostatic pressure were carried out with deep ice core obtained from the GRIP, Greenland. We observed that recrystallization occurred at a relatively low temperature condition (-18°C) after the test. This result shows that a development process of crystal texture is different under the condition of ambient pressure and hydrostatic pressure.

はじめに 氷床コアの力学試験を行うことは氷床水の力学的性質を知り、氷床流動を議論する上で不可欠である。しかし、コアは掘削後、深部での静水圧から解放され体積緩和が始まりプレート・ライク・インクルージョン (以下 PLI), 気泡等の空洞が生じ、力学的性質に影響を与えると考えられる内部構造に変化が起きている。Azuma and Higashi (1984)では静水圧下で Dye3 コアの力学試験を行っているが、多くの力学試験は常圧下で行われており、氷床深部の状態を再現する上では静水圧下で一軸圧縮試験を行う三軸力学試験が有効である。そこで本研究では掘削後 8 年経過した GRIP コアを用いて三軸力学試験を行った。GRIP コアはグリーンランド氷床頂上部で Greenland Ice Core Project によって掘削された深層コアである。コア内部には掘削後生じた PLI が特にクラウディー・バンド内で多く観察されている。またクラスレート・ハイドレートの一部も解離し、気泡となっている。これら氷床深部では存在しなかった空洞を三軸力学試験機で静水圧をかけ収縮させた後、静水圧下 (20 MPa) で一軸圧縮試験を行った。さらに、常圧下での力学試験結果と比較を行った。

実験方法 圧縮試片 (サイズ: $2.5 \times 2.5 \times 9$ cm) はその長手方向がコア軸と 45° をなすように切り出された。高压タンク内に入れられた試片に 20 MPa の静水圧をかけ、少なくとも 40 時間以上放置した後、定ひずみ速度 ($9 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$) 一軸圧縮を開始した。実験温度は静水圧加圧時および一軸圧縮試験時ともに -18°C である。

結果と考察 三軸試験機高压タンクの観察窓からの

目視観察によると静水圧加圧後、大部分の PLI, 気泡は収縮して見えなくなっている。しかし、圧縮試験終了後高压タンクから取り出された直後の試片を詳細に観察した結果、元の PLI の形である直径約 0.5~1 mm の円盤を縁取るようにあるいは円盤内部に均等に数 $10 \mu\text{m}$ の気泡が残っていた。

3 つの異なる深さから選ばれたサンプルの力学試験の結果からは氷の変形応力に明瞭な静水圧効果は見られなかった。1987m のサンプルは圧縮試験前後に結晶 C 軸方位分布を測定した結果、試験後の C 軸方位の集中度は低くなっていた (図 1)。Azuma and Higashi (1984) は静水圧下かつ高温条件下 (-2.8°C) において再結晶が起きていることを報告しているが、本研究の結果は -18°C の低い温度条件下でありながら静水圧下においては常圧下の力学試験では起こらなかった再結晶が短時間で起こったことを示している。これは結晶組織の変化は常圧下と静水圧下で異なることを示しており、氷床水の力学的性質を支配している氷結晶組織の発達を議論する上でこれまで考慮されていなかった静水圧依存性を組み込む必要性を提起している。

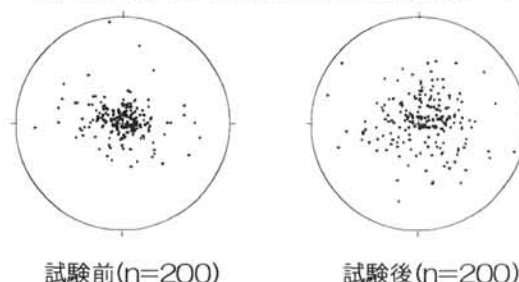


図 1. 1987m の圧縮前後の結晶 C 軸方位分布. 圧縮後再結晶し方位分布の集中度が低くなっていることがわかる。

南極浅層コア（H72、ドーム南）の基本解析報告

南極浅層コア解析グループ¹

Activity report on Antarctic shallow ice core analyses

Research group for Antarctic shallow ice core

This paper focuses on physical and chemical analyses on H72 (JARE39) and Dome South (JARE 38) ice cores from Mizuho Plateau, East Antarctica. It was found that annual accumulation rate at H72 for the last 33 years was 290 mm/yr from the 1966 peak of Tritium concentration. This value is in good agreement with snow-stake results from 1972 to 1997 (285 mm/yr) by JARE. Chemical analyses of H72 core show that major ionic impurities such as Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- are relatively homogenous since AD 1870. It was found that firn in H72 core is transformed to ice from 40 to 60m in depth by impermeability measurements. "Cyclic oscillations" of ECM signals and stratigraphic features are used for tentative dating of the H72 core.

1. はじめに

現在、南極観測気水圏（雪氷）では、第Ⅴ期南極観測（JARE38-42：1997～2001年）中の研究課題として、「南極氷床変動システムの研究」（極地雪氷分科会 将来計画委員会、1997）²を実施している。このなかの一つの課題として、「最近数百年の表面質量収支の変動」が取り上げられ、浅層コア（100m深程度まで）の解析による研究が進められている。本研究は、南極氷床上の広域多点浅層コアネットワークから過去の環境因子の変動記録を得る国際共同研究、ITASE (International Trans-Antarctic Scientific Expedition)の一部ともなっているので、その目的は、主として産業革命以後の数百年の時間スケールにおける環境因子の変動を南極氷床の広域で求めて比較し、過去の変動を明らかにすることにある。特に、ITASE計画による広域コアネットワークの研究成果は、最近のENSOと南極氷床を取り囲む南半球の大気・海洋の年々または数十年スケールの変動を自然と人間活動による変動との違いを認識することにも貢献することが期待されている。

本研究ではコアの同位体組成や化学成分、放射性同位体などを測定する。また、広域のコアネットワークのデータを比較することから、火山シグナルなどのタイムマーカーを用いて、相互比較できるようにする。ここでは、得られた結果の概要を述べる。

2. コア採取および解析方法

解析に使用したコアは、第38次隊（ドーム南：本山氏ら）と第39次隊（H72：山田、鈴木、橋田氏ら）が採取したものである。表1にこれらのコアで実施した基本解析項目を示す。この解析は国立極地研究所低温室に於いて2000年3月および9月に合計13日間実施した。常時7人～8人でこの解析作業を行なったので、平均すると、12m/dayの速度で進んだ（＝2m/hour）。

表1 コアの基本解析項目

解析頻度	項目	注
全層連続解析	層位（目視観察、デジタルビデオ撮影）	
	密度	50cm 程度を1サンプル
	ECM	
	化学主成分	15～25cm を1サンプル
	酸素同位体	"
部分解析	非通気性係数	密度 750～840kg/m ³ の範囲
	トリチウム濃度	1950 年相当まで

3. 結果の概要

H72コアの電気伝導度（融水）、pH、化学主成分、酸素同位体の測定結果を図1に示す。これは、15~20cm間隔で連続的にサンプリングした結果である。グリーンランドなどの北極域でのコアと異なり、近年の硝酸や硫酸などの増加は顕著ではなかった。ただし、pHは1960年代後半から増加した。また、表層部でのトリチウム濃度の測定から、1966年のピーク層が検出され、過去33年間の平均表面質量収支として、290mm/yrを得た。これは、1972年以降のH72での雪尺の平均値（285mm/yr）とほぼ一致した。コアの非通気性係数の測定結果から、フィルンは40~60m深で氷化することがわかった。なお、図1のコア年代は、ECM測定値と層位情報に基づいて抽出した季節変動を数えた“作業年代”である。

¹ 南極浅層コア解析グループ

西尾[#]（千葉大）、戸山・直木（北教大釧路）、山田・奥山（北大低温研）、亀田^{*}（北見工大）、渡邊・藤井・本山^{*}・古川・橋田・河野・五十嵐・高田・飯塚（国立極地研）、佐藤（長岡高専）、鈴木・白肌（信州大）、田上（横浜国大）、渡辺（名大大気水圏研）（[#]：研究代表者、^{*}：幹事）

² 極地雪水分科会 将来計画委員会（1997）：南極氷床変動システムの研究、雪氷、59(1),11-22

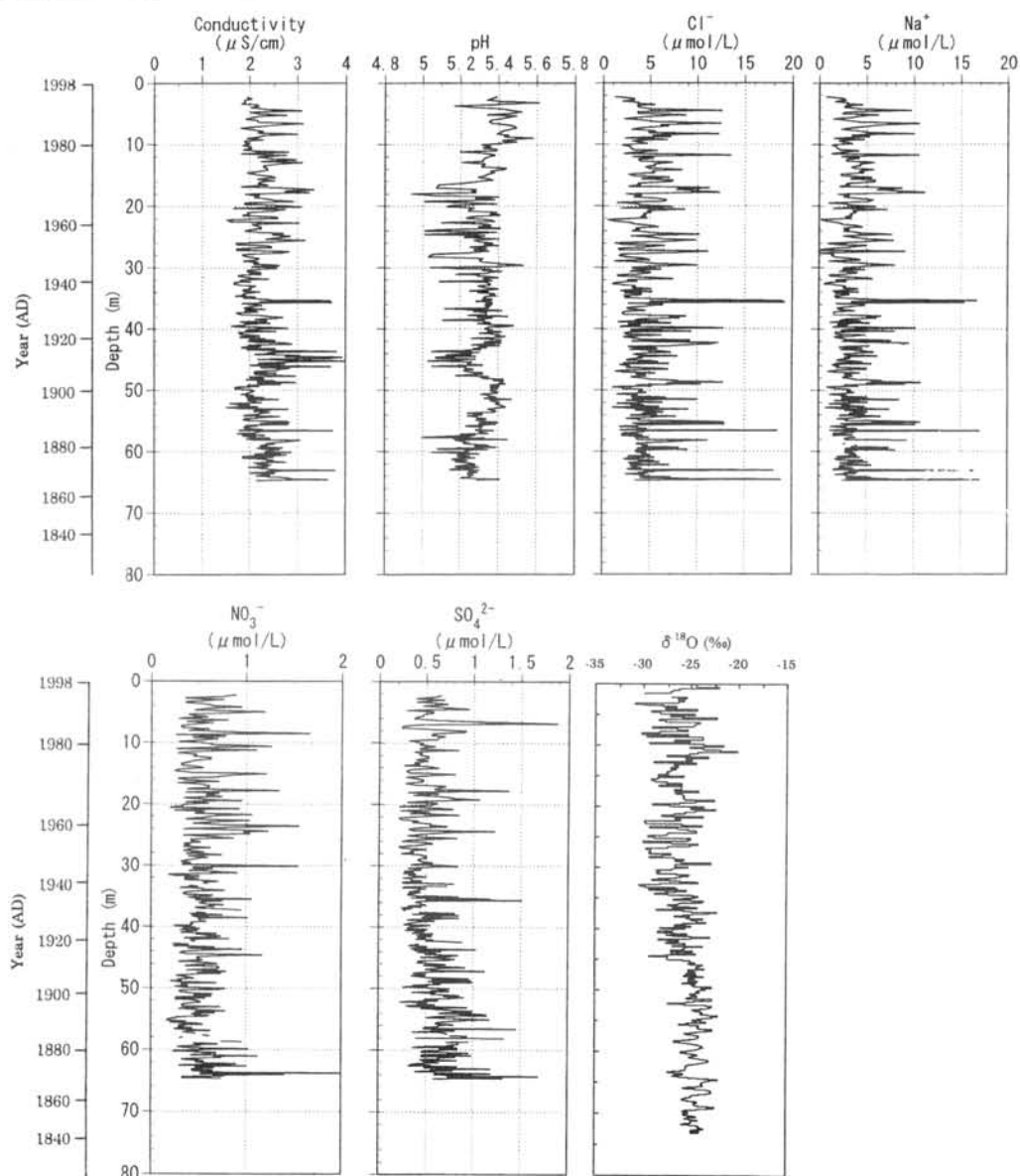


図1 H72 コアの電気伝導度（融水）、pH、化学主成分および酸素同位体の測定結果

南極浅層コア(H72、ドーム南)の化学成分基本解析

五十嵐誠、本山秀明(極地研)、戸山陽子(北教大)、亀田貴雄(北見工大)

Chemical composition analysis of Antarctic shallow ice core drilled at H72 and Dome South.

M. Igarashi, H. Motoyama (National Institute of Polar Research), Y. Toyama (Hokkaido Univ. of Education) and T. Kameda (Kitami Institute of Tecnology)

JARE38 and JARE39 carried out the shallow ice core drilling at Dome South and H72 on Mizuho Plateau respectively.

Chemistry analysis of the H72 ice core has been carried out to the 64m depth until now. The correlation coefficient was obtained in order to examine the relevance on the fluctuation of the chemical composition. As the result, the correlation among Mg^{2+} , Cl^- and Na^+ might be high. The ratio of Cl^- and Na^+ showed the value which was approximate to the ratio of the sea water. Therefore, 3 components were estimated with the sea salt origin.

Concentration is almost fixed from surface to 64 m depth were Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- and Cl^- . The concentration of Ca^{2+} and NH_4^+ increased for the present, and SO_4^{2-} , $CH_3SO_3^-$ (MSA) and H^+ (pH) reversely decreased.

1. はじめに

第V期南極観測(JARE38-42: 1997~2001年)の中で第38次隊はドーム南(ドームF南約100km地点)で、第39次隊はみずほ高原H72地点でそれぞれ深さ100m程度の浅層コア掘削を行った。これらの浅層コア掘削の目的は、過去数百年間にわたる気候変動、大気環境変動の情報を抽出することにある。この研究の詳細な背景は本シンポジウム「南極浅層コア解析グループ; 南極浅層コア(H72、ドーム南)の基本解析」の中で発表されるのでそちらも参考にしたい。

2. コア試料の作成および分析方法

本研究では電気伝導度、pH、化学主成分(無機イオン、有機酸イオン)濃度、酸素同位体組成、トリチウム、過酸化水素を分析した。化学分析用試料の作成は-20℃に保たれた低温実験室内で行った。バンドソーによって切り分けられた化学分析用コア試料の形状は、H72 コアは厚さ20mm、幅は短辺55mm、長辺67mm、長さは200~300mmの台形状であり、一方ドーム南コアは厚さ20mm、幅は短辺38mm、長辺62mm、長さ100~150mmの台形状である。

台形状のコア試料は、H72 コア、ドーム南コアとも最初に円弧状のドリル切削面を長辺の長さが短辺の長さと同じになるように、バンドソーによって切り落とした。直方体になったコア試料は、ドリル掘削面に近い方から幅10mmを酸素同位体測定用の試料としてバンドソーで切り分け、残りを他の分析用の試料とした。

切り分けられた酸素同位体分析用の試料は、乾いたビニール袋の中に入れて冷凍保存した。他の分析用の試料は、表面についた汚染を除去するために低温室内に設置したクリーンベンチの中で、純水で洗浄しておいたセラミック包丁で周囲を3mm程度削り落とした。そしてあらかじめ純水で超音波洗浄をしておいた融解容器の中へ入れて、測定直前まで冷凍保存した。試料の融解は、測定開始の少なくとも3~4時間前に冷凍庫から取り出し室温で融解した。

化学分析用の試料は、酸素同位体測定用と他の化学分析用とに分割したので、それぞれ独立して分析を進めた。後者の試料は、化学主成分濃度、電気伝導度、pH、過酸化水素濃度、トリチウム濃度の順で測定を行った。

酸素同位体測定は、質量分析計(Delta-plus, finnigan-MAT)で行った。化学主成分濃度はイオンクロマトグラフ(DX-500, Dionex)で分析した。今回測定の対象にする成分は、陰イオンは Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , NO_2^- , $CH_3SO_3^-$, $HCOO^-$, CH_3COO^- , $C_2O_4^{2-}$, PO_4^{3-} 、陽イオンは Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ である。電気伝導度とpHは、両者のセンサーを直結して、同一試料が電

気伝導度センサーから pH センサーに流れるようにして行った。過酸化水素の分析は蛍光分光光度計、トリチウムの分析は液体シンチレーションカウンター (LSC-LB III, アロカ) で行った。

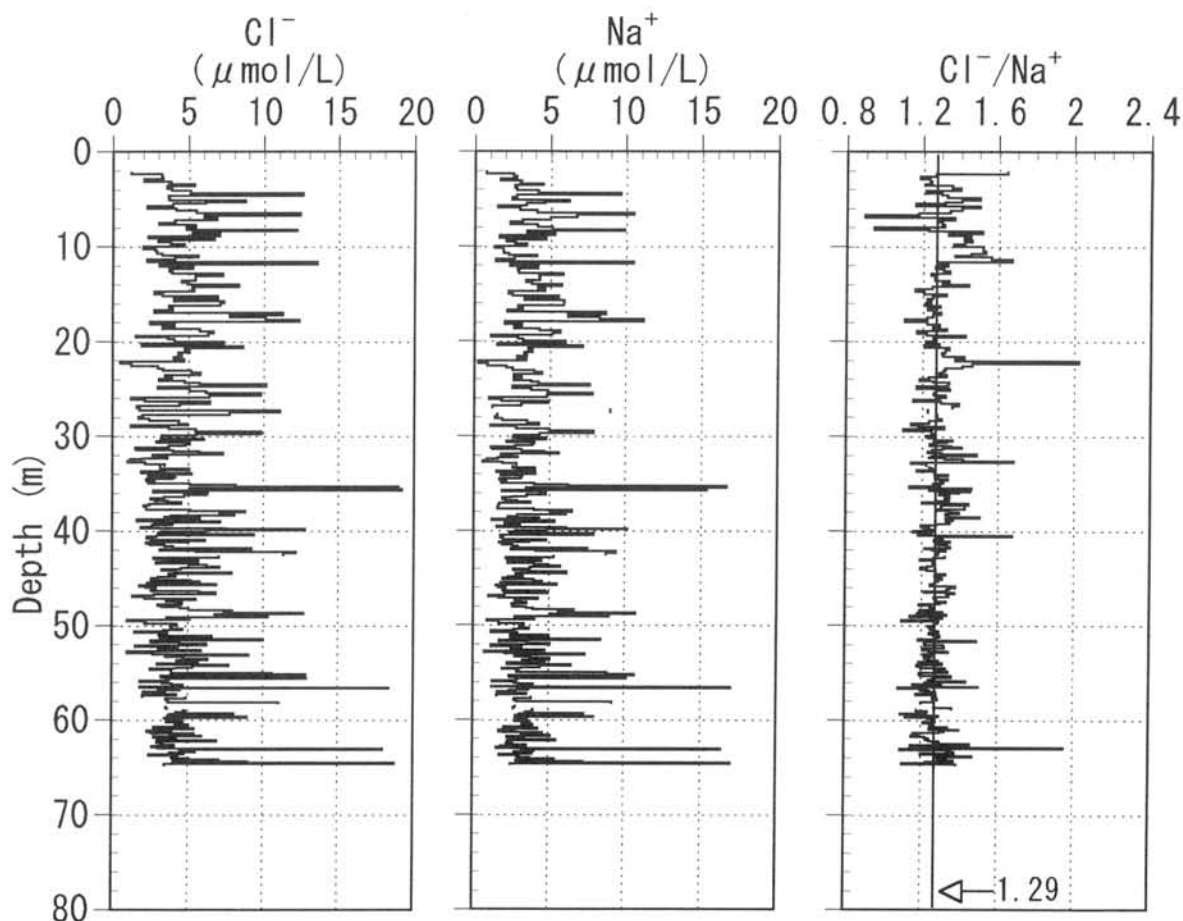
3. 解析結果

現在までのところ H72 コアのみ表面から 64m 深まで解析が進んでいる。電気伝導度、pH、および化学成分濃度間で重回帰分析をおこなったところ以下のような結果を得た。

Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- の相関係数はいずれも 0.94 以上を示した。また Cl/Na 比は 1.29 と標準海水の同比 (1.18) と比べてやや高い値を示した。しかし、深さが異なっても比の値 1.29 はほとんど変化しないので 3 つの成分は海塩起源と推定した (下図)。また電気伝導度とさきの 3 成分の相関係数は 0.66 以上を示した。 Cl^- 、 Na^+ が他の化学成分に比べて 5 倍程度の濃度をもち変動傾向が非常によく似ていることから、この結果は当然であろう。このほかに 0.6 以上の相関係数を示したのは、 F^- - K^+ 間であった。この理由については、より詳細にデータを検討してみる必要がある。この他の成分間ではすべて相関係数 0.6 を下回った。

次に全層にわたる濃度変化傾向を検討した。全層にわたり濃度がほぼ一定なものは Cl^- 、 Na^+ 、 NO_3^- 、 Mg^{2+} 、 K^+ であった。また現在に向かって濃度が増加しているものは Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、逆に現在に向かって濃度減少しているものは SO_4^{2-} 、 CH_3SO_3^- (MSA)、 H^+ (pH) であった。変化傾向のつかみにくいものは CH_3COO^- 、 HCOO^- 、 NO_2^- であった。これらの成分はいずれも水溶液中で不安定なことから非常に濃度が薄いため、分析データの信頼性を検討する必要がある。

現在、H72 コアについては最深部で分析が終了していない部分、そしてドーム南コアの分析作業を進めているので、発表時に併せて報告したい。



図：H72浅層コアの海塩起源成分測定結果

南極浅層 H72 コアとドーム南コアの DC-ECM 測定

戸山陽子・直木和弘（北教大釧路）、西尾文彦（千葉大）、亀田貴雄（北見工大）、
本山秀明・五十嵐誠（極地研）

DC-ECM method for shallow ice core at H72 and Dome-F in Antarctica

Y. Toyama, K. Naoki, F. Nishio, T. Kameda H. Motoyama and M. Igarashi

To determine the ice core age retrieved from H72 and Dome-F South, in Antarctica, ECM method was applied to obtain the age of these ice cores. The measured ECM in cold room clearly indicated the seasonal variations and showed the sporadic levels as volcanic events. The dating by ECM method is approximately 180 years before present, that is, around 1840 AD at H72, which is 73 m deep.

はじめに

産業革命以降の数百年における環境因子の変動を明らかにするために、南極氷床の広域の浅層コア解析から、過去の氷床中の同位体組成、化学成分、ダスト、火山灰、海塩成分、成層圈起源物質、生物化学フラックス等を高精度に測定する計画が実施されている (ITASE)。

多点での浅層コアの相互比較と最近の気象・雪氷データとの比較を行うときに、コアの年層と絶対年代の決定はもっとも重要な課題となる。雪氷コア年代決定法は、氷河の流動や積雪の圧密過程に基づくモデル、噴火年代が同定されている火山シグナルやトリチウムなどの示準層に基づく年代、ECM、酸素・水素の同位体、化学組成、固体粒子の季節変動から年層を数えて推定する方法などが挙げられる。

本研究では、南極浅層 H72 コア (73.4m) とドーム南コア (50.20m) において、ECM 測定を行ない、デジタルビデオで撮影した雪氷コアモザイク画像による層位と対比させることにより、季節変化を数えていった。これらの年層カウント法は年代が同定されている火山噴火や放射性降下物の堆積年代から較正する。過去 200 年程度では多くの火山噴火がタイムマーカとして南極コアには記録されている。

ECM 測定方法

2000 年 3 月 1 日から 11 日まで国立極地研究所低温室において、南極浅層コア H72 コア (深さ 73.4m) とドーム南コア (深さ 50.20m) において、ECM 測定を行った。南極浅層コア・H72 とドーム南コアの ECM 測定を行った。測定系はポテンショメータが備えた ECM 測器と

高圧電源、ECM-AMP、デジタル・マルチメーター、パソコン、XY レコーダーで構成されている。高圧電源装置は 1250V の電圧を使用した。ECM デジタル化の利点は、データ処理する際の手間が省ける点とデータを取得する際に、記録系による周波数特性の影響が小さくなる点である。今回、ドームふじ深層掘削で使用されたアンプを用いて、ECM 測定を行った。

測定結果

H72 コア

一般に、夏場は海洋微生物活動などによる硫酸エアロゾルの雪面への降下が増加し、雪の酸性度が高くなる。ECM 値は氷の酸性度に依存しているため、ECM 値の高い箇所は夏層であり、低い部分は冬層であると考えられる。沿岸に近い H72 のコアでは、氷化の始まる 40m 深までは、明瞭な季節変化がみられた。冬層と考えられる部分では、ECM 値はほぼゼロレベルであった。デジタルビデオ撮影により作成した雪氷コアのモザイク画像と、ECM を対比させ、季節変化を数えていった。H72 コアには、厚さ 1mm 以下の氷板が数 cm 間隔で確認された。氷板は、ECM の値がほとんど表れない部分と、ECM の値が高い部分の両方に存在した。しかし、いずれの場合でも、氷板の箇所では、ECM の値は一旦低くなる傾向が見られた。

H72 周辺で形成される氷板は、夏場に形成されるほか、冬場または秋口のある時期に降雪がなく、雪面が風によりクラストされた結果形成される場合も考えられる。H72 コアの ECM は、冬層と考えられる値がほとんどゼロレベルであることから、夏の高い値よりも季節シグナルとして抽出しやすいため、層位による季節変化の

数え方は、氷板があり、ECM の値が低い部分を冬層とみなして数えていった。その結果、H72 コアの ECM 年代は、73.4m で 1840 年と推定した。

また、H72 の ECM の結果からは、S25 と同様 (Watanabe, 2000)、顕著な火山シグナルが確認できなかった。しかし、H72 の場所は、沿岸部に近い S25 よりも内陸であり、火山シグナルが確認されている H15 (Khono, 1999) よりも内陸である。非海塩起源の硫酸のピークと対比させていくことにより、H72 コアの ECM から Pinatubo (1991)、El Chichon (1982)、Deception Island (1970)、Agung (1963)、Nilahue (1955) などの火山シグナルを推定した。H72 のコアが本当に火山シグナルが消されてしまうほどの酸性度をもつ雪が海洋から輸送されてくるのか、それとも H72 の場所には火山灰は降下しない条件下にあるのか、H72 付近の地理的な要因や気象の要因を把握する必要がある。

ドーム南コア

ドーム南は、表面質量収支が 0.025 (m/yr in w.e.) であり、涵養量が少ない。そのため、酸素・水素同位体や主要イオンから季節変化を抽出することは難しくなる。ECM では、H72 のように顕著な季節変化は確認できないが、層位で観察される粒径の大きな部分で ECM 値は低くなり、粒径の小さな部分で ECM は高くなる傾向が見られた。粒径の大きな部分では、冬場に形成されるしもぎらめ層であることが考えられる。ECM は高分解能な情報を抽出できるため、詳細な層位観察と ECM 値を合わせていくことにより、季節変化の抽出を試みた。また、ECM の特徴として、ECM 値が殆どゼロレベルである部分が数 10cm 続き、その後、再び ECM 値が高くなるという現象が数カ所確認できた。これは、ドーム南の表面質量収支から考えると、数十年周期に相当する頻度になる。

また、ドーム南の ECM では、火山シグナルと推定できるピークが確認できた。顕著なものとして、Tambora (1815)、Krakatoa (1680)、Unknown (1510)、Unknown (1460) が推定でき、これらはドームふじ深層コアでも確認されている。

参考文献

Khono M, et al., 1999 : The last 300-year volcanic signals recorded in an ice core from site H15, Antarctica, 雪氷, 61, 13-24

Watanabe K., et al., 2000 : ECM profile on the S25 core and its relationships with chemical compositions. BGR, 17, 17-22

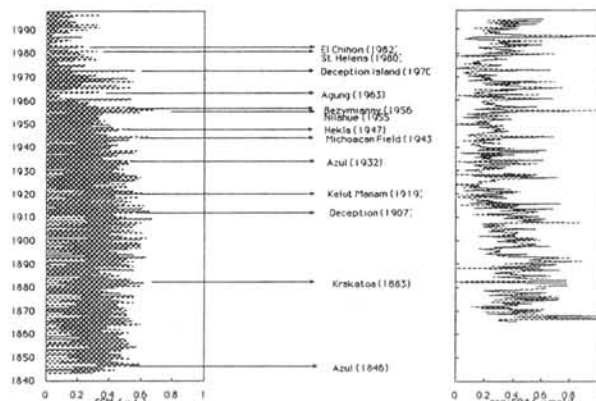


図 1
ECM より推定した H72 コアの火山シグナル

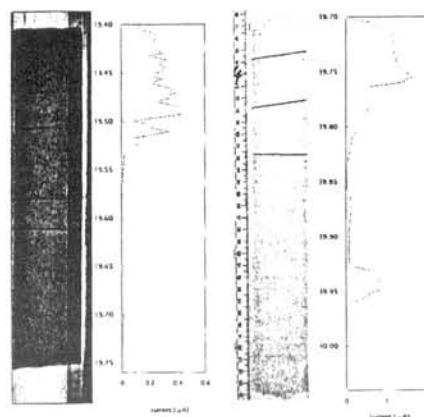


図 2
H72 コアの ECM シグナル。冬層に相当する部分は、レベルがほぼゼロである。

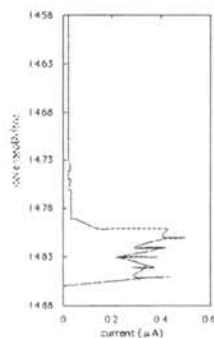


図 3
ドーム南の ECM シグナル。ECM レベルがほぼゼロレベルである部分は、数 10 年の年代を持つ。

ドーム F コアに記録された氷期—間氷期移行期における 陸海域起源物質と気温の変動

藤井理行・渡辺興亜・神山孝吉・本山秀明・東久美子・古川晶雄・

五十嵐誠・河野美香（極地研）・的場澄人（北大低温研）

Climate and environment changes in glacial-interglacial transitions recorded in a Dome-F deep ice core

Y. Fujii, O. Watanabe, K. Kamiyama, H. Motoyama, K. Azuma, T. Furukawa,

M. Igarashi, M. Kohno (NIPR) and S. Matoba (ILTS)

Basic analyses of $\delta^{18}\text{O}$, and terrestrial and marine impurities in the transitions from glacial to interglacial recorded in a Dome-F deep ice show that the transitions can be divided to several stages in conjunction with the climate and environment changes. We discuss the probable changes in the transitions.

気温を指標する $\delta^{18}\text{O}$ と、陸域起源物質であるダストの体積濃度および海域起源物質であるナトリウムイオンの濃度変化は、氷期に高く間氷期に低い傾向を示す。氷期における濃度は時間の経過とともに増大し、氷期末期に最も高い。これは、氷期の進行に伴う海面レベルの低下により次第に露出した大陸棚がダストの主要な供給源であったことによるか、あるいは氷期の進行、すなわち、寒冷化の進行とともに大気の大気南北循環場が強くなったために、多量にダストが南極に輸送されたことを示すものである。

一方、海域起源物質であるナトリウムイオン濃度は、 $\delta^{18}\text{O}$ と非常に高い逆相関性を示す。氷期における積雪涵養量は現在の 60-70% 程度なので、これだけで海塩濃度の 5-6 倍もの増大は説明できない。氷期には南極大陸を取り囲む海水域は拡大し、海域起源物質であるナトリウムのドームふじへの輸送距離は大きかったはずである。海塩 flux 量は輸送距離とともに指数関数的に減少することを考慮すると、氷期におけるナトリウムイオン濃度の増加は、大気の大気南北循環が強化されることに起因すると考えられる。

図は、最終氷期末期 (LGM) から完新世にかけての、陸海域起源諸物質の濃度と酸素同位体の変化を示す。図の網かけは氷期-間氷期の移行期

(Termination) を示すが、この移行期は、(a) 氷期の最寒冷期でダスト濃度の最大期、(b) ダストとナトリウムイオン濃度の減少開始時期で Cl/Na が変動を開始する時期、(c) ダスト濃度の減少が完了し移行期の気温上昇の半ば、すなわち氷期の終了時期、(d) MSA の減少が完了した時期、(e) 気温上昇とナトリウムイオンの減少が完了した時期、といくつかの stage に区分することができ

る。氷期から間氷期に移行する時期の気候、環境変化について考察する。

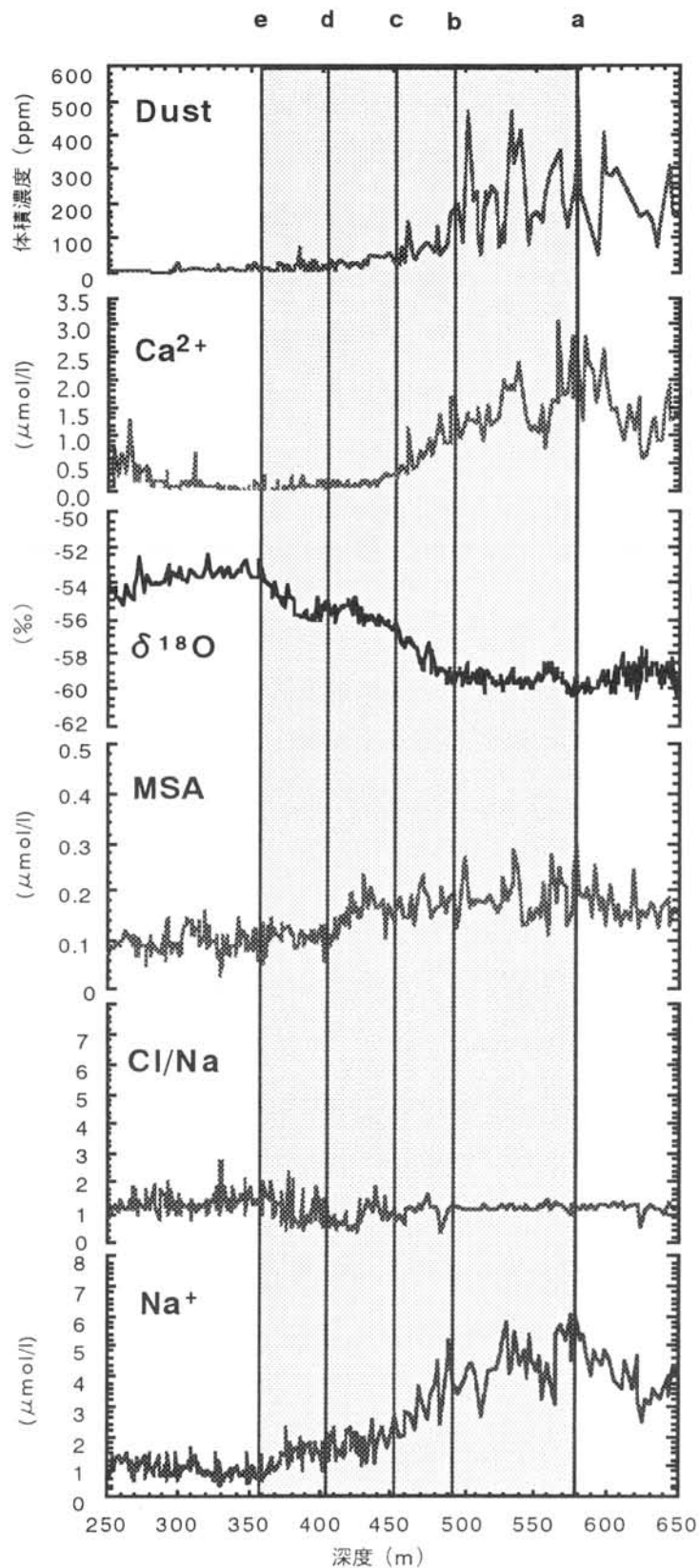


図 最終氷期末期から完新世への移行期における陸域起源物質（ダスト、 Ca^{2+} ）、海域起源物質（MSA、 Na^+ ）とその Cl/Na 比、酸素同位体組成の変化。この移行期には、a から e で区分できる気候・陸海域環境の stage があったことが読み取れる。

ドームふじコア火山灰層に含まれる火山ガラスの給源

○河野美香・藤井理行(極地研)・的場澄人(北大低温研)

Source of volcanic glasses in tephra layers
found in the Dome Fuji ice core, Antarctica.

Mika KOHNO, Yoshiyuki FUJII (NIPR) and Sumito MATOBA (ILTS)

Major chemical compositions of volcanic glasses in 25 tephra layers found in Dome Fuji ice core were determined using a wavelength- and energy- dispersive electron microprobe analyzer. The glasses were a few tens micro meter-sized pumiceous grain. This suggests that their sources were close to coring site. The glasses were divided into three types: (1) tholeiitic basalt to dacite, (2) calc-alkaline andesite and (3) trachyandesite to trachyte. Assuming that their sources are in and around Antarctica, plausible source volcanoes are: (1) South Sandwich Islands, (2) South Shetland Islands and/or southern part of the volcanic zone of Andes and (3) Marie Byrd Land.

南極ドームふじ (77°19'S, 39°42'E, 3810 m a.s.l.)で掘削された 2503m深層コアには、目で確認できる火山灰層が 25層確認された (Fujii et al., 1999)。一般的に、火山あるいは火山地域ごとに、噴出する火山灰 (火山ガラス) の化学組成に特徴がある。従って、コアの火山灰層に含まれる火山ガラスの化学組成を調べ、その組成と各地の火山麓に堆積した火山ガラスの化学組成とを比較することにより、コア中の火山ガラスの給源火山を特定することができる。つまり、コア中の火山ガラスから、コアがカバーする過去数十万年間の火山噴火活動を復元することができる。また、火山灰編年学的研究から、気候が噴火活動の消長に関与する可能性が指摘されているが、これに対してコア中の火山ガラスを用いた噴火活動の復元、および、コア氷の酸素同位体組成による古気候の復元が傍証になる可能性がある。また、コアの火山灰層は、Laki 1783年噴火や Tambora 1815年噴火などに起因する硫酸ピークと同様にコアの示準層になる。特に、放射年代学あるいは火山灰編年学的研究から噴出年代が明らかにされている広域火山灰がコアに含まれている場合、その層は年代を与える示準層になる。本研究では、ドームふじコアの火山灰層に含まれる火山ガラスの主化学組成を明らかにし、それらの給源火山を推定した。

火山ガラスの採取および分析は、コアの消費を最小限にするために次のように行った。低温実験室クリーンベンチで、火山灰層を含むコアから汚染を被った表面を削った後、融解水当量で 1~2 μ l の氷試料を採取し、ヒーター上のスライドガラスに載せ、融解・蒸発させた。スライドガラス上に残った粒子は、エポキシ系樹脂で固めて 5~10 μ m 厚の薄片にした後、波長分散型電子プローブマイクロアナライザー (JEOL-JXA8800) に供した。25層のうち 5 層の火山灰層に含まれる火山ガラスは、粒径が小さい (<10 μ m) ため、薄片にできなかった。そこで、粒子は樹脂で固めることなく、エネルギー分散型電子プローブマイクロアナライザー (JEOL-JSM5900LV) を用いて定性分析した。

20層の火山灰層に含まれる火山ガラスは、主化学組成に基づいて、(1) ソレライト系玄武岩〜デイサイト、(2) カルクアルカリ系安山岩、(3) アルカリ系の中性岩、の 3 つの岩石系に分類された。これらの火山ガラスは 20 μ m 程度の粒径であることから、これらの給源は南極あるいは南極近傍と考えられる。そこで、南半球中緯度以南の火山麓で採取された火山灰の主化学組成に基づいて、(1)~(3) に属する火山ガラスの給源は、(1) サウスサンドウィッチ諸島の火山、(2) サウスシェトランド諸島あるいはアンデス山脈南部の火山、(3) マリーバードランドの火山、であると推定した。これらを給源とする火山ガラスは、上部対流圏を経由し、極に収束する偏西風により内陸部のドームふじまで運ばれたと考えた。一方、ニュージーランドの火山は偏西風帯より北に位置することから、ここを給源とする火山ガラスはコアの火山灰層に含まれていなかったと推定した。

南極ドームふじ深層コア中のテフラ粒子特性化への He マイクロ波誘導結合プラズマ発光分光分析の試み

田村 早苗、菊地 正（山口東京理科大）、
高原 寿雄、三島 美奈子（横河電機）、藤井 理行（極地研）

Attempts to characterize the ancient atmospheric aerosol in the deep layer of the Fuji ice core at the South Pole dome by He-microwave induced plasma atomic emission spectroscopy

Sanae TAMURA, Tadashi KIKUCHI (Science University of Tokyo in Yamaguchi),
Hisao TAKAHARA, Minako MISHIMA (Yokogawa Electric Co.), Yoshiyuki FUJII (NIPR)

He-microwave induced plasma atomic emission spectroscopy (He-MIP-AES)¹⁾ have been attempted to characterize individual micro-particles. The GSJ rock reference samples, JB-1a, JB-3, and JR-1 were analyzed by He-MIP-AES and gave different characteristic correlation of cubic root voltage for synchronized emission data, respectively, even though both JB-1a and JB-3 are classified into basalt. It suggests that it may be possible to identify an origin volcano that provided tephra particles by measuring a cubic root voltage of synchronized emission for individual particles and analyzing the distinctive feature of their correlation for whole particle.

【はじめに】 ドームFコア中にはテフラ層が数十層確認されている。これらは過去の火山活動の証拠であることから各層中に存在する粒子状物質に関し、粒径分布や個々の粒子の特性化を行うことにより、過去の火山噴火活動等を明らかにすることができる。

そのためには、数十～サブ $\mu\text{m}\phi$ の個々の粒子に関して特性化を行う必要がある。現在のマイクロプローブ分析法は組成分析にEPMA、SEM-EDX、LAMMS等、化学状態分析法にはXPS、AES等があるが、これらの分析法には一長一短がある。

本研究では、テフラ粒子について粒径分布、平均組成分析および個々の粒子を組成分析し、特性化を行うことを目的としている。しかしながら、分析対象であるテフラ層は厚さが平均1～8mmと薄く、含有粒子数が限られている。そこで、He マイクロ波誘導結合プラズマ発光分光法 (He-MIP-AES)¹⁾と岩石標準試料を用い、微量粒子評価分析法として応用を試みた。

【実験及び方法】 試料は地質調査所 岩石標準試料 (JB-1a, JB-3, JR-1) をメノー乳鉢で微細に粉碎後、ニュークリポアフィルター(1 inch, 孔径 $0.2\ \mu\text{m}\phi$)上に捕集し、分析に供した。分析にはHe マイクロ波誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (Particle Analyzer, PT1000、横河電機)を使用した。試料はHe キャリアガスとともに特殊アスピレータにより高速で吸い上げて個々の粒子に解離し、Beenakker型キャビティ内で発生された大気圧Heプラズマの中央部に導入した。微粒子はプラズマの熱により蒸発、原子化、イオン化、励起され、それに伴う発光スペクトルを4チャンネルの分光検出器により検出し、元素分析を行った。

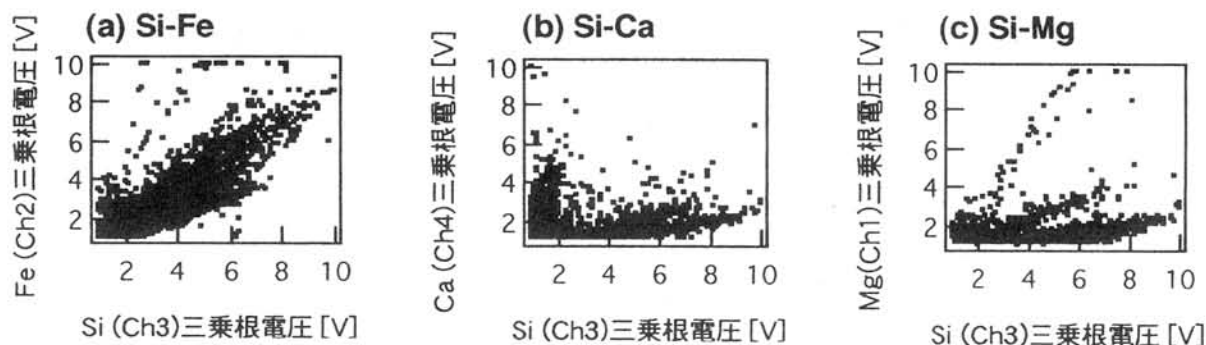


Fig. 1 岩石標準試料 JB-1a (basalt、長崎県佐世保) の同時発光元素の三乗根電圧
総発光粒子数 : 7336

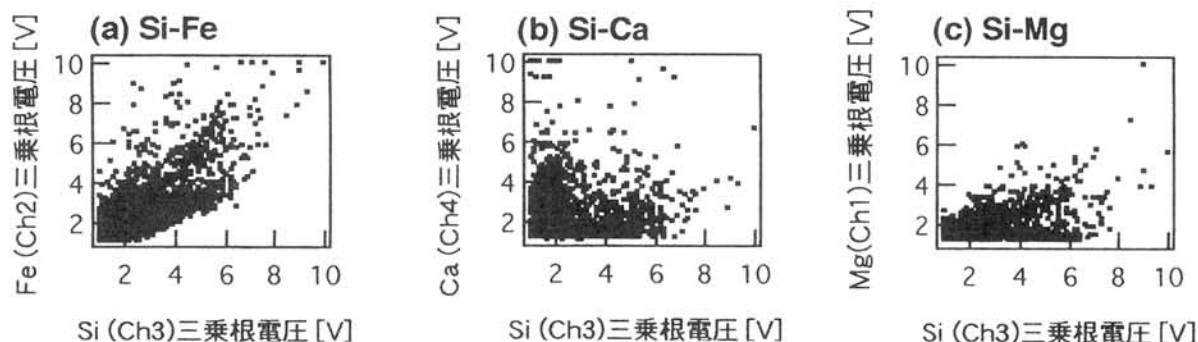


Fig. 2 岩石標準試料 JB-3 (basalt、富士山) の同時発光元素の三乗根電圧
総発光粒子数 : 5993

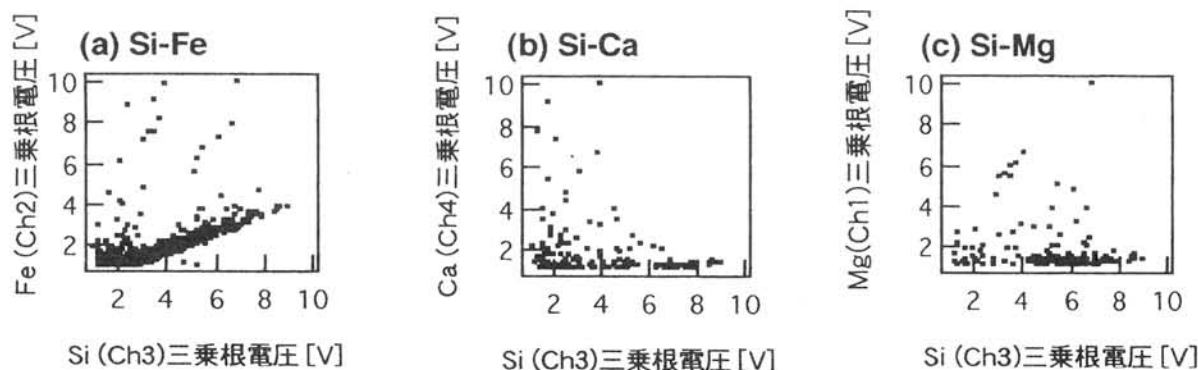


Fig. 3 岩石標準試料 JR-1 (rhyolite、長野県和田峠) の同時発光元素の三乗根電圧
総発光粒子数 : 5215

【結果及び考察】 各分光検出器で得られた同時検出元素の組み合わせと個数进行分析することによって、個々の粒子の化合物または混合物としての組成情報を得ることができる。岩石標準試料 JB-1a、JB-3、JR-1 について、Si、Fe、Ca、Mg の組成解析を行った結果、JB-1a と JB-3 は同じ basalt に分類されるが、同時発光元素の三乗根電圧の相関性には特徴的な違いが認められた (Fig. 1 ~ 3)。すなわち、個々の微粒子に関して同時発光元素の三乗根電圧を測定し、微粒子全体に関してその相関性の特徴を調べることにより、テフラ粒子の給源火山を特定できる可能性があることが分かった。

1) H. Takahara, *Ultra Clean Technology*, 5, 4(1993).

南極ドームふじコアから得られた過去 3 4 万年間の大気中 CH₄ 濃度の変動

中澤高清、○川村賢二、青木周司（東北大院・理）、渡邊興亜（極地研）

Atmospheric CH₄ concentration during the past 340000 years
from the Dome Fuji ice core, Antarctica

Takakiyo Nakazawa, Kenji Kawamura, Shuji Aoki (Tohoku University) and Okitsugu Watanabe (NIPR)

In order to reconstruct the variations of CH₄ concentration over the last three glacial-interglacial cycles, air samples were extracted from the Dome Fuji ice core by the melting method and analyzed for CH₄. The age differences between air and ice (Δ age) were determined from the past firm thicknesses estimated by the measured values $\delta^{15}\text{N}$ of air. Δ age amounted about 2000 years for the interglacials and over 3000 years for the glacial maximums. CH₄ concentration was about 350 ppbv in the glacial maximum and about 700 ppbv during the interglacial period in the last two climate cycles. The CH₄ concentration varied in accordance with $\delta^{18}\text{O}$ of ice, suggesting good correlation between the strength of methane sources and the temperature.

1. はじめに

南極氷床に含まれる空気から再現される氷期-間氷期サイクルにおける温室効果気体の変動は、将来の気候変動を予測する上で欠かせない情報をもたらす。われわれは、南極ドームふじ基地で掘削された長さ 2500m の深層氷床コアを用いて、過去 34 万年におよぶ CH₄ 濃度の変動を明らかにすべく分析を行った。

2. 実験概要

表面を清浄にした約 300g の氷床コア試料をステンレス製の容器に入れ、約-15°C に保ちながら 90 分以上真空排気した。その後、容器を湯に浸して氷を融解し、解放された空気を水トラップで除湿した後、サンプリングチューブに約-263°C で転送・捕集した。抽出された空気を均一に混合させるために、サンプリングチューブを一晩横向きに静置した後分析した。

3. 年代決定

氷床に含まれる空気は、同深度の水とは異なる年代を持っているため、CH₄ 濃度の時系列を求めるには、氷の年代に加えて、氷と空気の年代差を推定すること

が必要となる。本研究では、空気の N₂ の安定同位体比を用いて過去のフィルンの厚さを推定し、それと過去の涵養量の推定値を用いて年代差の推定を行った。年代差は、間氷期には約 2000 年であるが、氷期には涵養量が減少するために 3000 年以上に増大する。

4. 結果

本研究で得られた CH₄ 濃度を、気温の指標となる水の $\delta^{18}\text{O}$ とともに、年代に対して図 1 に示す。CH₄ 濃度は、氷期-間氷期スケールの気候変動にともなって大きく変動しており、過去 2 回のサイクルでは、氷期の最盛期において約 350ppbv の極小値をとり、間氷期の初頭には約 700ppbv の極大値をとっている。間氷期から氷期への移行期にも、 $\delta^{18}\text{O}$ の低下と同期して濃度が低下している。氷期には、いくつものピークを含みつつ全体として徐々に濃度が低下している。このような CH₄ 濃度と $\delta^{18}\text{O}$ とのよい相関から、湿地や野生動物、バイオマス燃焼といった CH₄ の放出源強度が、気候変動に伴って大きく変化していたことが分かる。

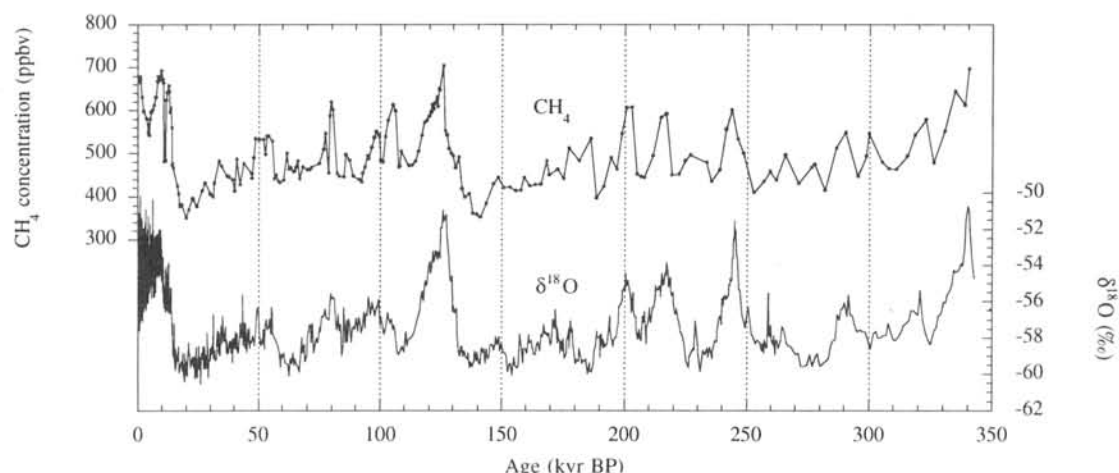


図 1 南極ドームふじコアに含まれる空気の CH₄ 濃度。気温の指標である $\delta^{18}\text{O}$ も示す。

ドームふじのフィルン空気データによる 過去の大気中メタン濃度の再現

菅原敏（宮城教育大）、川村賢二、青木周司、中澤高清（東北大院・理）、
橋田元（極地研）

Reconstruction of past atmospheric CH₄ concentration from the firn air data at Dome Fuji

S. Sugawara (Miyagi Univ. of Education), K. Kawamura, S. Aoki,

T. Nakazawa (Tohoku Univ.), G. Hashida (NIPR)

Atmospheric CH₄ concentration for the last few decades in the Antarctic region was reconstructed from Dome Fuji firn air data by using an inverse method and the age distribution function calculated by the molecular diffusion model. The reconstructed variation is in good agreement with the other direct measurements.

1. はじめに

極域氷床のフィルン内では、深い層ほど大気に比べてより古い空気が存在している。したがって、フィルンの各深度での空気中の成分濃度を知れば、過去数十年間の大気成分の変動を逆に推定できると考えられる。しかし、空隙中のガス成分は主に分子拡散によって輸送されるため、ある深度での成分の年代は、統計的な分布を持つことになる。そこで、深度分布から過去の大気中の変化を抽出するためには、この年代分布関数を用いた inversion が有効と考えられる[1]。近年国内でもフィルン空気の採集、成分分析が実施され、良質の深度分布データが得られている[2]。今回はメタン濃度に着目し、フィルン空気の観測値を用いた大気濃度変動の逆推を試みた。

2. 年代分布と大気中濃度の再現

年代分布は鉛直1次元の拡散モデルを用いて計算された。このモデルでは、濃度勾配と重力効果に起因する分子拡散フラックス、気泡生成とそれに伴うフィルン空気の移流等が考慮されている。図1に計算されたメタン分子の年代分布関数（鉛直分解能1mの場合）を示す。深くなる程、古く、かつ年代幅が広がることがわかる。氷化深度直上の104m深では、平均年代は22.8年であり、これを中心にして15.5年から28年の年代幅におよそ半分が含まれる。フィルン内の濃度の鉛直分布は、大気濃度の変動を年代分布で重み付けした線形結合で再現できる。このことから、フィルン観測値を再現し得るような大気の変動を、高速な繰り返し計算によって逆推することができる。この inversion における大気濃度の初期値として、フィルン観測値と、その深度における平均年代とから推定される時系列を用いた。図2にその初期値と、inversion によって再現された大気中濃度の推定値を示す。再現された大気濃度変動は、これまでに南極域で実施されている直接観測と良い一致を示しており、特に90年代半ばの急激な増加率の低下が明瞭に再現されている。

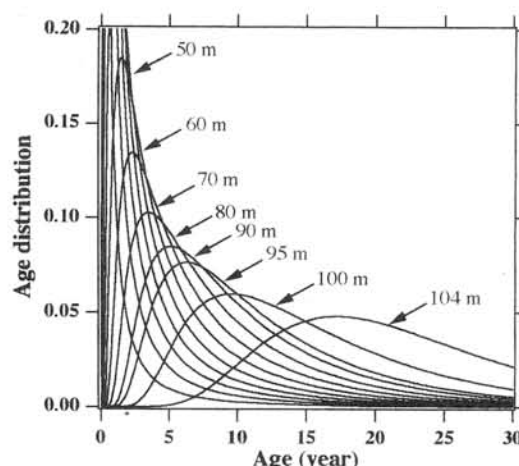


図1 拡散モデルによって計算されたドームふじフィルンの各深度におけるCH₄分子の年代分布関数。鉛直分解能は1m。

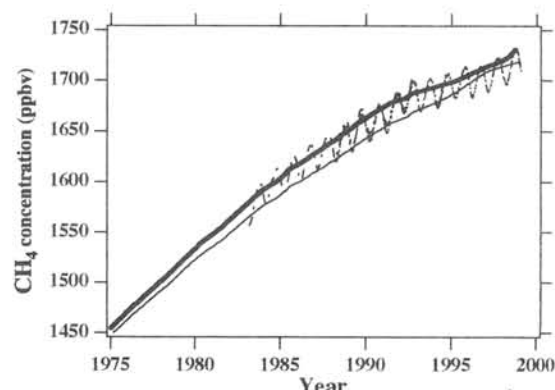


図2 フィルン空気のCH₄濃度観測値から inversion によって再現された過去25年間の大気濃度の変動。細い実線と太い実線がそれぞれ inversion における初期値と推定値を表す。比較のため、NOAA/CMDL による南極点での観測値（鎖線）と、昭和基地での連続観測値（点線）を、東北大濃度スケールに統一して示す。

参考文献

- [1] Rommelaere et al., 1997, JGR, 102, 30069-30083.
- [2] 川村他, 2000, 日本気象学会春季予稿集, 77

ロシア・アルタイ山脈ソフィスキー氷河掘削予備調査報告

藤井理行（極地研）、西尾文彦（千葉大）、亀田貴雄（北見工大）、L. M. Savatyugin (AARI)、
S. Arkhipov (IG)、P. I. Alexandrovich (ASU)

Preliminary investigation on glaciological features of Sofisky glacier, Altai Mountains, Russia

Y. Fujii (NIPR), F. Nishio (Chiba Univ.), T. Kameda (KIT), L. M. Savatyugin (AARI)、
S. Arkhipov (IG)、P. I. Alexandrovich (ASU)

Preliminary investigation on glaciological features for ice core drilling planned next year was carried out on accumulation area of the Sofisky glacier in Russian Altai Mountains in July 2000. The purpose of the project is to clarify the relation between changes in climate warming and atmospheric environment progressing in the central Eurasia. Results of the study on a 12 m ice core and 3 m pit are introduced.

アジアのみならず北半球の冬期の気候を支配しているシベリア高気圧圏では、過去数十年の地球規模の温暖化が最も進行している地域である。また、arctic haze で代表される大気環境汚染もシベリアで進行している。しかし、この地域の過去の気候および大気環境の変化については、ほとんど知られていない。また、過去数十年の大気汚染と気候温暖化は、人為起源の大気汚染物質の間接効果による放射強制力の変化、特に冬期の夜間における逆転層内での氷霧の発生による放射冷却の減少といったプロセスで進行している可能性もあるが、まだ実証的研究はされていない。

アジアとシベリアの境界に位置するアルタイ山脈にある氷河は、北極域での温暖化や大気環境汚染のバックグラウンドを探るのに、最適な場所に位置する。こうした観点から、ロシア・アルタイ山脈の Chuyskiy 山群ソフィスキー氷河で雪氷コア掘削を行う。2 年計画の 1 年目として、ソフィスキー氷河の標高 3440m の涵養域で 12m のコア掘削と 3m のピット観測を行ったので、これらの結果を報告する。

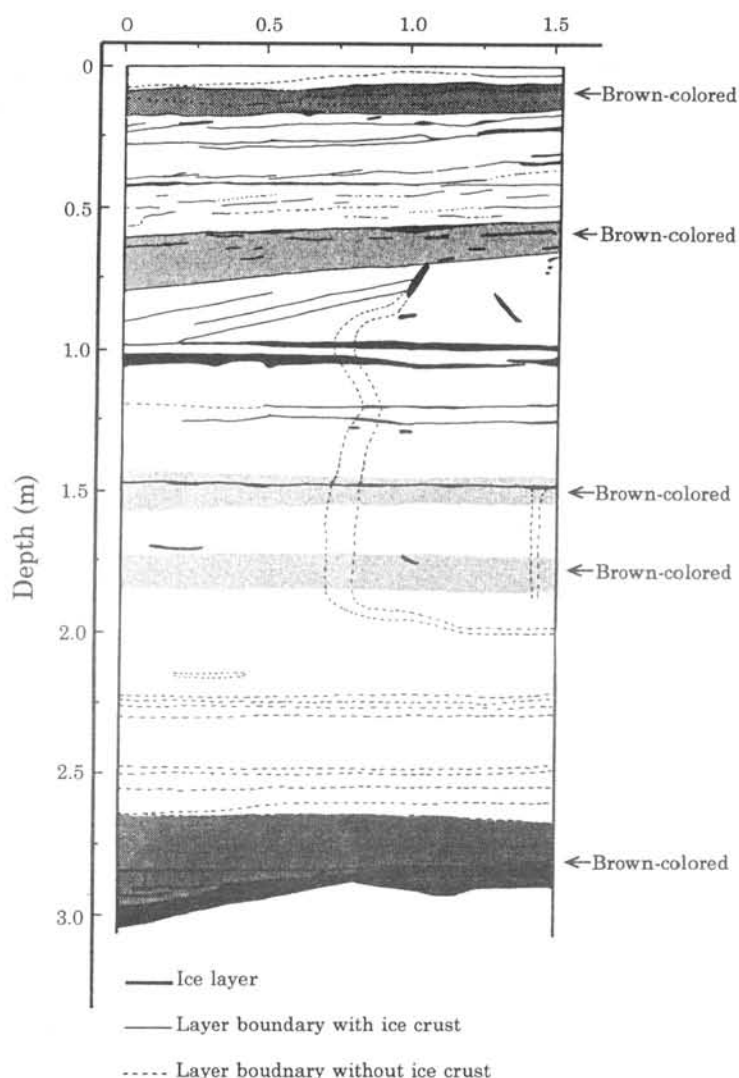


図 3m ピットの層構造

カナダ Mt. Logan における氷河の予備調査

東久美子（極地研）・Roy M. Koerner（カナダ地質調査所）

Gerald Holdsworth（カルガリー大学）・渡辺興亜（極地研）

Reconnaissance study at glacial sites on Mt. Logan, Canada

K. Goto-Azuma (NIPR), R. M. Koerner (Geological Survey of Canada),

G. Holdsworth (University of Calgary), O. Watanabe (NIPR)

To search for a future ice-coring site, reconnaissance study was carried out on Mt. Logan, Yukon, Canada in July-August 2000. Snow pits were dug at three glacial sites QS (2800ma.s.l.), KT (3300ma.s.l.) and KC (4100ma.s.l.). Pit-wall samples were collected at each site and will be analyzed for oxygen isotope and ions. Results of the pit observations suggest that site QS suffer from heavy summer melting and that site KC is located in a dry snow zone. Site KC is suggested to be a possible drill site.

<はじめに>

従来北極域で行われてきた雪氷コア研究は、グリーンランドやスバルバル、クイーンエリザベス諸島など主に北大西洋域に限られており、北太平洋域における研究は殆ど行われてこなかった。北太平洋域における過去の気候・環境変動の解明を目標として、2001 年から 2002 年にかけてカナダ、ユーコン準州の Mt. Logan (61°N, 141°W) で、日加共同の雪氷コア掘削とこれに関連した氷河観測が計画されている。掘削地点の選定と設営方法検討のため、2000 年 7 月から 8 月にかけて Mt. Logan において氷河の予備調査を実施した。

<調査の概要>

Mt. Logan の氷河上に位置する QS 地点（標高 2800m）、KT 地点（標高 3300m）、KC 地点（4100m）の 3 地点においてピットを掘り、層位観測と密度測定を行った。KC 地点においてはこれに加えて雪温測定を実施するとともに、自動気象観測装置を設置した。また、各地点のピット壁から雪氷試料を採取し、ポリ袋内で融解した後再凍結し、日本へ持ち帰った。ピット試料は酸素同位体、主要イオン等について分析を行う予定である。

QS 及び KT 地点では多量の融雪が生じていた。特に QS 地点では、所々に見られる薄い氷板を除くと、深さ 3 m 以上まで水分を多量に含んだ湿雪であった。KT 地点においても表面付近は湿雪であったが、深さ 1 m 以深に乾雪が観測された。一方、KC 地点では融雪が殆ど生じていなかった。融解再凍結によって形成されたと考えられる層が 1.9m 間隔で観測されたが、これらの層は非常に薄かった。また、雪温は深さ 2 m で -15.8 度であった。これらのことから、KC 地点では年間積雪量が約 1.9m、また、夏期の融解は殆ど生じていないものと考えられる。ピット試料の分析を待たねば結論を出せないが、今回の予備観測により、KC 地点において良質の雪氷コアが採取できる可能性の高いことが分かった。

南極H15コア中の固体微粒子

— テフラ微粒子の可能性 —

佐藤竜央（日大文理）、福岡孝昭（立正大地球）、河野美香（極地研）
林伸幸（日大文理）、藤井理行（極地研）、遠藤邦彦（日大文理）

Micro solid-particles in the ice core from site H15, Antarctica

— Possibility of Micro tephra-particles —

T.Sato (Nihon Univ.) , T.Fukuoka (Rissho Univ.) , M.Kohno (NIPR)
N.Hayashi (Nihon Univ.) , Y.Fujii (NIPR) , K.Endo (Nihon Univ.)

The colorless and transparent particles have been found in the ice core from site H15, Antarctica. Peaks of the numbers of micro solid-particles with the 5 to 20 μ m size, synchronized with peaks of electric conductivity and concentration of sulfate ion in melted water of the ice core. We observed shape of the particles by Scanning Electron Microscope (SEM) The shape of the most micro solid-particles is similar to volcanic glass. Therefore, the particle is thought micro tephra-particles.

氷床コアにおける硫酸イオンの濃度は、ある部分でピークが現れる。その原因は、火山起源のエアロゾルが含まれているからだと推定されている (Hammer et al.1980)。このエアロゾルは、世界各地の大規模な火山噴火によって噴き上げられた火山ガスに由来していると説明されている。このような部分には、肉眼では確認できなくても、火山ガスと同時に噴き上げられた微小のテフラ（火山灰）も含まれている可能性が考えられる。

これまで、南極H15コアにおいて電気伝導度が高い部分（多くの部分から硫酸イオンの濃度が高い部分を確認している (Kohno et al.1999)）を融解・濾過し、フィルタ上の固体微粒子を実体顕微鏡（416倍）で「色・形・大きさ」別に計数した。その結果、直径5～20 μ mの無色透明の固体微粒子のピークは、電気伝導度や硫酸イオンの濃度のピークと同調した。また、そのピークが存在する氷の推定年代の大半は、大規模な火山噴火（例えば、1883年に噴火したクラカタウ火山（インドネシア））の年代と対応することが分かった。これらが本当にテフラ微粒子であるかどうかは、詳細な形態観察とS iなどの元素の存在を確認する必要がある。

本研究は、このような固体微粒子を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した。その結果、無色透明の固体微粒子の大半は、火山ガラスの形と類似していることが分かった。したがって、これらはテフラ微粒子である可能性が強い。また、実体顕微鏡では確認できない5 μ m以下の固体微粒子の一部も、火山ガラスの形と類似していた。今後、SEM/EDSでS iなどの存在を確認する予定である。

南極 H72 浅層コアのレーザートモグラフによる堆積構造の解析

高田守昌(総合研究大学院大学)、藤井理行(国立極地研究所)

Stratigraphical analysis of the H72 ice cores by laser tomograph measurement

M. Takata (Grad. Univ. Advanced Studies), Y. Fujii (NIPR)

We have carried out stratigraphic analysis of H72 shallow cores, Antarctica, using laser tomograph system simultaneously with a preliminary analysis of this cores. Improvement of our analysis program is required to apply it for distorted shape ice cores. We could detect frequently ice crusts, hoar layers as detailed two-dimensional distribution of air bubbles measured with laser tomograph system.

1. はじめに

氷床コアの堆積構造は、過去の降雪の堆積・変質により形成される。南極の斜面下降風域において、表面積雪はほとんど雪の変態を受けない場合もあるが、風による剝削・再堆積、秋季のしもざらめ層・クラストの形成、堆積中断による光沢表面の形成などの変態を経てフィルン層となる。そこで、レーザートモグラフを用い H72 地点の過去の堆積層である雪氷コアを連続的に測定し、この構造から過去の降雪量や、表面積雪の変態を明らかにすることを目的とする。

2. 測定

解析装置および測定条件はこれまでと同じである*。測定は、国立極地研究所の低温室内で実施された南極浅層コアの基本解析に合わせに行った。測定で用いたサンプルは、水平バンドソーにより半円断面に切断後、マイクロトームによる切断面の整形、ECM 測定が行われたものである。測定のため、サンプルは整形した面がレーザー光軸と平行になるように配置し、レーザー入射により生じる散乱光はこの面を用いて撮影した。なお、レーザー入射面は全く整形していないドリル掘削面であるラウンドな部分を用いた。測定前のコアの配置の調整に時間を要したが、コア 1 本あたりの測定時間が 2 分程度であり、全てのサンプルの測定を基本解析と同時に進行で行うことができた。

3. 結果

まず従来の画像処理プログラムを用いて解析を行ったが、ドリル掘削面の欠け等による凹凸が存在し、レーザー入射位置がコア 1 本中で変化するため、解析結果の画像はこの影響が存在した。この原因は、これま

での測定では試料の整形を十分に行っていたが、今回は基本解析と同時に進めたため低温室内での測定速度を重視し測定したことである。そこで、これまで用いていた比較的単純なアルゴリズムの画像処理プログラムを改良し、この影響をなくすようなアルゴリズムを付け加えた。この改良プログラムを用いて解析したところ、氷化深前後では、概ね良好な画像を得られるようになった。図 1 に H72 コアのレーザートモグラフ解析の結果の一例を示す。図 1a のレーザートモグラフ画像では、氷板やしもざらめ層が圧密氷化した層の存在が確認できる。発表当日は、レーザートモグラフ画像の画像処理から得た空隙・気泡率、気泡形状・数などから H72 コアの堆積構造について検討した結果を報告する。また今回始めて密度が小さな部分で行ったが、画像処理を用いた測定アルゴリズムについても検討した結果を報告する。

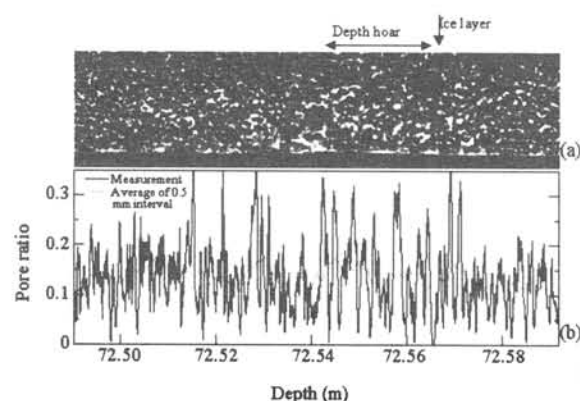


図1 H72 コアのレーザートモグラフ画像(a)と気泡率の変動(b)

* Takata M. and Fujii Y. (2000): A laser tomograph technique for ice core stratigraphy analysis. Polar Meteorol. Glaciol. (in press).

南極ドームふじ氷中の空気分子の拡散

○深澤倫子, 本堂武夫 (北大低温研)

Diffusion of air molecules in Dome Fuji Antarctic ice

T. Ikeda-Fukazawa and T. Hondoh (ILTS, Hokkaido University)

Significant gas fractionation has been found in Dome Fuji Antarctic ice. The fractionation is attributed to the diffusion of air molecules in the ice sheet. On the basis of a theoretical model, we performed simulations of the fractionation process in Dome Fuji and Vostok ice. We concluded that the effects of fractionation depend on the ice temperature and the snow accumulation rate.

極地氷床は、数十万年の間に堆積した様々な物質を保存しており、過去の気候と環境の変動についての貴重な情報源といえる。氷床中の空気分子は、氷床浅部では気泡として存在するが、深層部では水分子と化合して包接水和物と呼ばれる透明な結晶を形成する。気泡と空気包接水和物は氷床内において非常に長い深さ領域にわたって共存しており、この領域は transition zone と呼ばれている。

最近、南極 Vostok 氷の気泡と包接水和物結晶の N_2/O_2 組成比が transition zone において深度と伴に著しく変化すること(空気分別現象)が明らかになった[1]。この空気分別現象は気泡と包接水和物が共存する氷結晶中では、分子種によって速度の異なる拡散流が生じることに起因する[2,3]。氷格子中の気体分子の拡散速度および包接水和物の生成圧力は、温度に依存する。したがって、空気分別現象は、氷床の温度条件を反映することが予測される。実際に、ドームふじ氷の気泡及び包接水和物のラマン散乱の測定結果からは、空気分別の傾向は Vostok 氷の結果とほぼ一致しているが、包接水和物の N_2/O_2 比は Vostok 氷と比べてやや低いことが明らかになっている。

本講演では、氷中の空気拡散モデルを基に、氷床中の空気分別過程における氷温の効果を示す。さらに、この理論モデルを包接水和物が形成されていない氷床浅部の条件に応用することにより、気泡間の空気拡散の効果についても議論をおこなう。

[1] T. Ikeda *et al.*, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 91 (1999).

[2] A. N. Salamatin *et al.*, *Annals Glaciol.*, **29**, 191 (1999).

[3] T. Ikeda *et al.*, in *Physics of Ice Core Records*, 393 (2000).

南極ドームふじにおける水素同位体比及び d-excess 変動の特徴

植村立¹, 吉田尚弘¹, 栗田直幸¹, 末吉哲雄², 阿部彩子², 沼口敦³, 橋本重将⁴,
中尾正義⁴, 本山秀明⁵, 渡邊興亜⁵

(¹東工大, ²東大, ³北大, ⁴名大水研, ⁵極地研)

Major features of deuterium excess and δD record from the DOME Fuji deep ice core, Antarctica.

R.Uemura¹, N.Yoshida¹, N.Kurita¹, T.Sueyoshi², A.Abe², A.Numaguti³, S.Hashimoto⁴,
M.Nakao⁴, H.Motoyama⁵, and O.Watanabe⁵

(¹Tokyo Institute of Technology, ²University of Tokyo, ³Hokkaido University, ⁴Institute for Hydrospheric Atmospheric Sciences, ⁵National Institute of Polar Research)

Either stable isotopic compositions of oxygen or deuterium in the ice has been used to reconstruct paleotemperature. Additional paleoclimatic information is provided by the deuterium excess ($d\text{-excess} = \delta D - 8 \delta^{18}O$) which mainly depends on sea surface temperature, relative humidity, and wind speed at oceanic source region of the water vapor. The $d\text{-excess}$ record of the Dome-F deep ice core is obtained by measuring both the δD and $\delta^{18}O$. This $d\text{-excess}$ history spans three glacial-interglacial cycles of the past 340,000 years. The $d\text{-excess}$ record shows remarkable features that are common to three cycles, of which cause is attributed to the changes in several parameters.

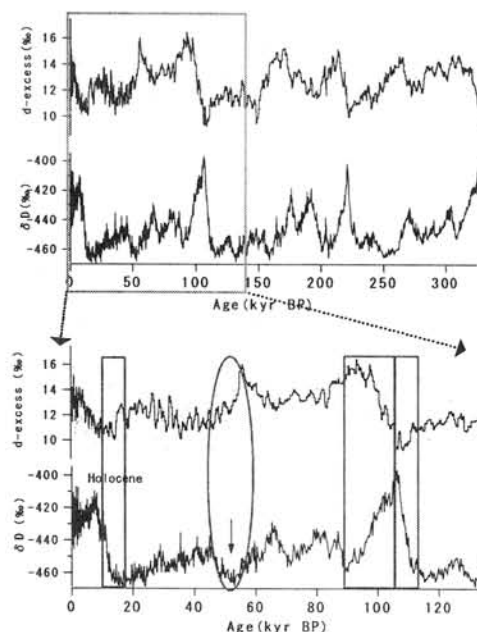
氷床コア中の水の安定同位体比(水素: δD , 酸素: $\delta^{18}O$)は、過去の気温変動の復元に広く用いられている。また、 $d = \delta D - 8 \times \delta^{18}O$ で定義される $d\text{-excess}$ は主に水蒸気の起源に関する情報を含んでいると考えられている。本研究では南極ドームふじコアの水素同位体比を測定し、酸素同位体比とあわせて $d\text{-excess}$ を求めることで三つの氷期・間氷期サイクルにおける $d\text{-excess}$ 変動を明らかにした。

その結果、 $d\text{-excess}$ の変動が間氷期への温暖化と氷期への寒冷化で大きく異なること、氷期の前半と後半で $d\text{-excess}$ の値が違うこと等の特徴的な変動が3つの氷期・間氷期サイクルに共通していることが明らかになった。[図1]

これらの特徴は $d\text{-excess}$ が δ 値に加えて新たな情報を含んでいることを示しており、その特徴を理解するために δ と $d\text{-excess}$ の関係や周波数解析などについて基本的な解析を行った。

また $d\text{-excess}$ 変動の要因の基礎的な解析と

して Melrivat and Jouzel[1979]のモデルを用いた場合にどのような解釈が妥当であるかを検討した。



[図1 δD と $d\text{-excess}$ の全記録と一部拡大図]

北グリーンランド氷床深層掘削およびコア解析(NGRIP)

庄子 仁¹⁾、成田英器²⁾、東 信彦³⁾、東 久美子⁴⁾、藤井理行⁴⁾、高橋昭好⁵⁾、高田守昌⁴⁾、河野美香⁴⁾、青木周司⁶⁾、渡邊興亜⁴⁾

1)北見工大、2)北大低温研、3)長岡技科大、4)極地研、5)地球工学、6)東北大

North Greenland Icecore Project: Field operation and core analysis in 2000

H. Shoji¹⁾, H. Narita²⁾, N. Azuma³⁾, K. Azuma⁴⁾, Y. Fujii⁴⁾, A. Takahashi⁵⁾, M. Takata⁴⁾, M. Kohno⁴⁾, S. Aoki⁶⁾, O. Watanabe⁴⁾ 1) Kitami Inst. Tech., 2) Hokkaido Univ., ILTS, 3) Nagaoka Univ. Tech., 4) Nat. Inst. Polar Res., 5) Geo Tecs Co., 6) Tohoku Univ.

North Greenland Icecore Project(NGRIP) is a comprehensive and international effort for ice core drilling/analysis to extract paleoclimate record on the Earth from a deep ice core. Field operations and core studies in 2000 are summarized and reported.

はじめに

グリーンランド、ノース・グリップ計画(NGRIP)は、デンマーク、コペンハーゲン大学(代表: D. Dahl-Jensen 博士)を中心に、ドイツ、日本、スイス、フランス、アイスランド、スウェーデン、ベルギー、米国等の国際協力のもとに行う深層コア掘削・解析研究である。日本(代表: 渡邊興亜、極地研)はNGRIPスタート以来、フィールドにおけるコア掘削・処理の現場作業に参加するとともに物理・化学・気体分析等のコア測定・解析を共同分担している。NGRIPの目的は、深層コアの解析から地球の古気候情報を抽出することにある。

ノース・グリップ・キャンプ(北緯 75°10'、西経 42°32')における掘削は1996年に開始されたが、1997年に深さ 1371.7 m の孔内でドリルがスタックし、1998年のシーズン中も回収されなかった。1999年に第1掘削孔から約 25 m 離して第2の深層コア掘削を新しく表面から開始し、シーズン終了時には深さ 1751.47 m に達した。NGRIPでの氷厚は 3080 m、年平均気温は-32℃、年間堆積量は 19 cm 氷/a である。採取されるコアの直径は 98 mm で、掘削孔径は 129.6 mm である。コア解析は、現場と各研究室の両方で行われている。

2000年フィールド活動

5月16日にフィールド活動を再開してから、ほぼ順調に掘削、コア処理、現場解析等が行われた。6月30日にドリルタワーモーターが故障してタワーが転倒しケーブルが破損するという事故が起こったが、ケーブルを新しいものと交換して無事作業が続けられた。7月23日に深さ 2931 m でドリルがスタックしたため、回収作業が行われた。エチレン・グリコールは液封液より密度は高く、かつ氷を溶かすので、これを大量に投入して掘削孔とドリルの間に挟まってドリルスタックの原因になっている氷屑を溶かした。5日後の7月28日にドリルは無事回収された。続いて、掘削孔の下部数 10 m の範囲に溜まっているエチレン・グリコールの回収が、ベイラーを用いて行われた。掘削孔底部まであと 7 m の地点で、ベイラーがやはり氷屑に挟まってスタックした。これを回収するために、さらにエチレン・グリコールが投入され、8月9日にベイラーは無事回収された。しかし、エチレン・グリコールの

回収再開翌日の8月10日に、再びドリルタワーモーターが故障した。修理に必要な部品の在庫が無かったため、この時点でシーズン終了を決定し、初期の予定通り8月16日に、NGRIP キャンプを越冬閉鎖した。来シーズンは、底部に残留しているエチレン・グリコールの回収と、残りの150 m について深層コア掘削を行う予定である。

コア解析

コアの誘電率測定(DEP)および電気伝導度測定(ECM)の現場測定結果によると、NGRIP コアと GRIP (グリーンランド中央ドームで採取、3029m 長) コアのシグナルは極めて良く類似しており、容易に対応づけることができる。GRIP コアの年代は既に決められているので、両者の比較から NGRIP のおよその年代を見積もるのは容易である。その結果を NGRIP 底部に外挿すると、丁度底部での氷の年代が Eemian 終了時にあたる結果となった。これは、流動モデル計算による「Eemian 間氷期の氷は、底部から約 300 m 上部に位置するだろう」という予想と著しく異なる結果である。また、底部温度については、レーダーエコー反射強度・層位のデータから「底部の氷は、基盤にしっかりと凍結していて、圧力融解は起こっていない」と予想されていたが、ドリルスタック時にドリル内で実測された温度から見積もると、「底部は圧力融解点にある」と推定されている。

現場で行った化学連続コア測定(CFA)については、 Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2O_2 , HCHO に関する濃度測定が行われ、現在データ解析中である。C 軸方位分布予備測定の結果(深さ 1691 m まで)では、鉛直面内に C 軸方位が分布するという結果が得られている。これは、GRIP およびドームふじコアのような鉛直方向に集中してゆくタイプと大きく異なる結果である。このサンプルの力学試験から、単に C 軸方位と圧縮軸の間の角度依存性だけではなく、方位分布が氷の流動硬さに及ぼす効果も明らかにできると思われる。力学試験を行うために15本の板状サンプルが、国内に向けて現在輸送準備中である。NGRIP コアのクラウディー・バンドの明暗の度合いについては、GRIP コア同様に顕著な深さ変化が観察された。気体分析については、9月25~26日にコペンハーゲンで開かれる NGRIP 会議で了承され次第、サンプルが日本に冷凍空輸される予定である。さらに今年のフィールド現場では、ピット研究、テフラ粒子観察等も行われており、研究は現在も進行中である。

国内からの参加

2000年シーズンは、合計9名がフィールドに参加した。以下に、参加者名、NGRIP キャンプでの滞在期間、キャンプ内での作業分担を記す。

東 信彦	5月16日～6月20日	Deep Drilling
成田英器	5月23日～6月20日	Core Processing
東 久美子	5月23日～6月20日	Continuous Flow Analysis (CFA)
藤井理行	6月13日～6月20日	VIP 参加/Pit Study
高橋昭好	6月20日～7月12日	Deep Drilling
高田守昌	6月20日～7月12日	Core Processing
河野美香	6月20日～7月12日	Core Processing
青木周司	7月12日～8月16日	Continuous Flow Analysis (CFA)
庄子 仁	7月12日～8月16日	Core Logging

クラウドアイス内におけるマイクロバブルの数密度分布

下原 喜美子、宮本 淳、百武 欣二、庄子 仁（北見工業大学）

Number distribution of micro-bubbles in the cloudy ice from the GRIP deep core

K. SHIMOHARA, A. MIYAMOTO, K. HYAKUTAKE, H. SHOJI (Kitami Institute of Technology)

In order to characterize cloudy band structure, number density of micro-bubbles within a cloudy ice were measured in the GRIP deep core sample.

はじめに

クラウドアイスが観察される GRIP コア(深さ 2208m部分)の空気含有物の測定を行なった結果、これまでに以下のことが分かった。(1)クラウドイーバンドではマイクロバブル(サイズが $30\mu\text{m}$ 以下の気泡)の数密度が約 $100\text{個}/\text{mm}^3$ と他の空気含有物より2桁多い。(2)マイクロバブル数密度はクラウドイーバンドの明暗構造と対応して変化している。図1にサンプル内でのマイクロバブル位置を示す。クラウドアイス内でもマイクロバブルの数密度分布にばらつきがあることが分かる。このことから、限られた範囲(水平方向が幅 0.8mm)での測定結果が広範囲にわたるマイクロバブル数密度分布を反映しているかの確認が不可欠である。すなわち、適切なサンプリング体積を得ることが必要である。本研究では、クラウドイーアイスの水平方向でのマイクロバブル数密度分布を測定し、特徴を明らかにすることを目的とした。

測定方法および結果

測定サンプルは GRIP コアの深さ 2483mの部分(1992 年掘削分)から準備した。選択理由は目視層位観察により、2208mのサンプルと同等な強いクラウドイーバンド構造が観察されたからである。サイズは $82\times 20\text{mm}$ 、厚さ 5.4mm にミクロトームで整形した。サンプル内で観察された最もグレーバリュー値の高いクラウドイーアイス(鉛直方向厚さ 2mm)をサンプルの一端から水平方向に 0.85mm ずつ移動して氷内部の透過光画像をデジタルビデオに録画し、マイクロバブル数密度および分布位置を得た。

予備実験では、クラウドイーアイス内でのマイクロバブル数密度は約 $140\text{個}/\text{mm}^3$ となった。2208mではグレーバリュー値が高い場所で $130\sim 180\text{個}/\text{mm}^3$ であった(サンプリング体積は今回の測定の約 $1/4$)。分布位置は全体的に一様で、図1で観察される深さ方向のばらつきは水平方向では観察されなかった。現在、クラウドイーアイス内での水平方向の測定範囲をさらに広げて測定を行なっている。詳しい結果および考察はシンポジウム当日に報告する予定である。

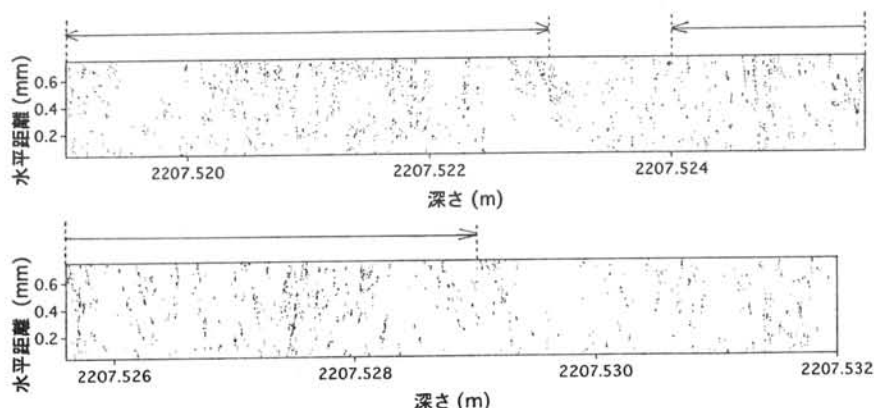


図 1. マイクロバブル平面投影分布図。点は位置のみでサイズ情報は含んでいない。また、矢印で示した部分はクラウドイーアイス部分を示す。

北グリーンランド氷床コアの化学分析

田上美枝 (横浜国立大学)、五十嵐誠 (極地研)、本山秀明 (極地研)、高田守昌 (極地研)、渡辺興亜 (極地研)、成田英器 (北大低温研)、庄子仁 (北見工大)、J.P.Steffensen、H.B.Clausen

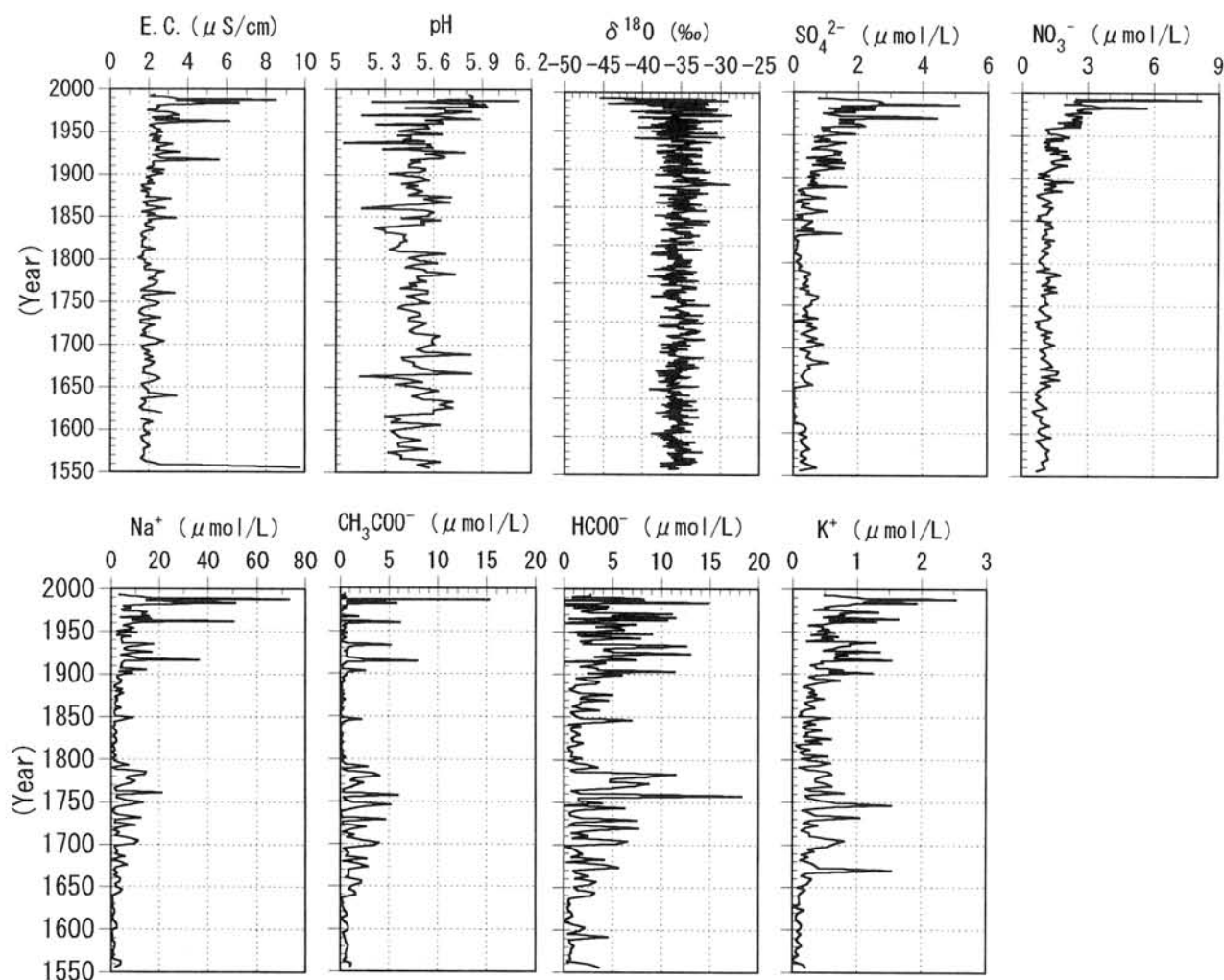
Chemical analysis of north Greenland ice core

M. Tagami (Yokohama National Univ.), M. Igarashi (National Institute of Polar Research), H. Motoyama (National Institute of Polar Research), M. Takata (National Institute of Polar Research), O. Watanabe (National Institute of Polar Research), H. Narita (Hokkaido Univ.), H. Shoji (Kitami Inst. Tech), J. P. Steffensen (Copenhagen Univ.) and H. B. Clausen (Copenhagen Univ.)

In this study, we analyzed ice core samples drilled in 1997 from north Greenland. The length of the core is about 100m, and it is correspondent to a past for 400 years.

It was determined that electrical conductivity, pH and concentrations of major soluble species (F^- , $HCOO^-$, CH_3COO^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}).

As a result, it was clearly the following. Concentrations of $HCOO^-$ and CH_3COO^- changed similarly with Na^+ between about 1550 and 1900. In this century, concentration of $HCOO^-$ and K^+ fluctuated similarly with Na^+ . Na^+ which seemed to be the sea salt origin was low-densified in 1600's and in 1800's. Concentration of NO_3^- increased rapidly from 1880, and $nssSO_4^{2-}$ increased from 1830, about 50 years earlier than NO_3^- . Seasonal variation of $nssSO_4^{2-}$ was appeared distinctly between 7 and 9 m in depth, and the concentration of it rose in autumn. And, there was rise of concentration on Na^+ and Cl^- in the summer. In the SO_4^{2-} concentration profile, there was a high-dense peak which originated from the Laki volcanic eruption (1783).



図： NGRIP97 S1コア化学成分析結果

1. はじめに

グリーンランドでは過去に GRIP(1990~1994), North-GRIP(1995~), GISP 2(1990~1993)と呼ばれる計画が実施されている。このうちの GRIP 計画で掘削されたコアは 1992 年、3028 m で岩盤まで達した。この深層コアには過去 25 万年間の気候情報が記録されており、気候変動に新たな二つの問題を提起した。その一つが氷期における亜氷期(Interstadials)の存在で、もう一つが最終氷期(the Eemian)の気温の不安定性についてである。North-GRIP 計画の目的は深層掘削を行い採取した氷コアの解析から、the Eemian における気候の不安定性の変動過程及び駆動機構について解明することである。

本研究では、1997 年に掘削された 97°NGRIP/Site1 コア(約 100 m)を用いる。この掘削地点の年間涵養量はビット観測により 0.22m of water/annual と推定されている(五十嵐, 1998)。年間涵養量が現在と変わらないと仮定すると深さ 100m はおよそ 350 年前に相当する。数万年規模の気候・環境変動の歴史からみればこの 350 年間は、後氷期のほぼ平均的な気候状態の最中といえる。しかし、1760 年頃産業革命が始まり、人類が自然環境へ与える影響は、かつてないほど強まっている。また 16 世紀終わりから 19 世紀にかけてヨーロッパ各地で小氷期と呼ばれる低温期が存在した。本研究の目的は、氷期-間氷期間の気候変動の規模からみれば安定期と見て取れる最近の数百年間について、気候・大気環境変動を氷コア中の化学主成分濃度の変化より明らかにすることである。

2. 試料採取と化学解析方法

2.1 試料の作成方法

掘削されたコアは、直径 7.4cm×長さ 55cm の円柱状で、このコアは物理解析用・化学分析用・酸素同位体分析用に 3 分割される。化学分析用のコアの形状は板状である。それをまず水平バンドソーで、2.5×2.5×55 cm に切断し、次に各サンプル底面側をバンドソーで 2.5×2.5×10 cm に切断した。分析用コアの表面は掘削時のドリルや運搬過程においても、汚染される可能性が高いので、クリーンベンチ内で表面をセラミック包丁で 5 mm ほど削った。しかし、この作業は深さ 15.4m~99m までは有効であるが、15.4m 以浅では氷がもろく、削る際に破壊する恐れがある。そこで 15.4 m 以浅のコアではドリルに接していた部分のみを 3mm ほど削ることにした。以上の作業が終わった試料からポリプロピレンの容器に入れ、密閉し低温資料貯蔵室内(-20℃)で保管した。

2.2 化学解析方法

イオンクロマトグラフィーで分析する主要イオンの中には、融解後半日程度で濃度変化するもの(酢酸、蟻酸)もある(五十嵐ほか, 1998)。そのため試料は

分析の当日に低温室から出し実験室内に設置されたクラス 10000 のクリーンルームに移した。クリーンルーム内は常に 23.5℃±1.0℃に保った。これは一定温度を保たないと測定値に誤差が生じる成分もあるからである。

季節変動をしている化学主成分の有無、Dielectric Profiling(以下 DEP)測定に見られた特異値が火山活動起源のものか確認するため、連続試料を採取する箇所を設定し詳細な分析も併せて行った。

切断した氷床コア試料は融解した後、イオンクロマトグラフにおいて化学主成分濃度(F^- ・ $HC00^-$ ・ CH_3C00^- ・ Cl^- ・ NO_3^- ・ NO_2^- ・ SO_4^{2-} ・ Na^+ ・ NH_4^+ ・ K^+ ・ Mg^{2+} ・ Ca^{2+})を測定した。また酸性度、電気伝導度の測定も行った。

3. 結果

現在のところ 97°NGRIP コアの正確な堆積年代は決定されていない。掘削時の 1.65m 深のビット観測により、年間涵養量は 0.22m of water/annual (五十嵐, 1998)と推定されている。また DEP による火山シグナル(アイスランド, Laki 火山, 1783 年)を基にした年代決定では、97°NGRIP/S1 コアはおよそ西暦 1600 年から 1997 年分を記録していると推定されている(Joseph, 未発表)。涵養量による推定のみでは年々の降水量変化があり誤差が大きくなるので、火山シグナルにより大まかに年代を決め、年間涵養量で内挿し、本研究での作業年代とした。

1550 年ごろから 1900 年ごろまでは $HC00^-$ と CH_3C00^- は Na^+ と相関が高く、供給源が同方向であったことを示唆している。1900 年ごろから現在にかけて $HC00^-$ と K^+ は Na^+ と相関が高い。これも供給源の方向が同じであったことを示唆している。 Na^+ と K^+ は海水中に多く存在するので、海塩起源の可能性が高い。

Na^+ は、1600 年代と 1800 年代に著しく低下している。これは低気圧活動が少なく海塩粒子の供給量が減少したことを表していると考えられる。1.65m ビット観測の結果から、 Na^+ は冬に増大するという結果がでているので今後この部分に特に注目して、より詳細な分析を行う必要がある。

NO_3^- と $nss\ SO_4^{2-}$ (non sea salt SO_4^{2-}) の経年変化は、 $nss\ SO_4^{2-}$ が 1830 年頃から、 NO_3^- は約 50 年遅れて 1880 年頃から増加し始めている。これは、化石燃料使用により大量の $nss\ SO_4^{2-}$ が放出されたことを示している。この濃度増加時期は同じグリーンランド Dye 3 や Camp Century の氷床コアの化学分析結果と比較すると、約 70 年早まっているように思われる。また $nss\ SO_4^{2-}$ は、深さ 7~9 m の箇所で行った詳細分析より、秋に濃度が上昇する傾向が見られた。 Na^+ と Cl^- は明瞭でないときもあるが夏季に濃度の極大値が現れた。その他の成分は明瞭な季節変化を示さなかった。

SO_4^{2-} については Laki (1783) と思われる箇所に、10 $\mu\text{mol/l}$ を超えるピークがあった。そのほか Katmai (1912), Tambora (1815), Komagatake (1640) についてもピークはでているが、濃度は 4 $\mu\text{mol/l}$ 程度にとどまっていた。

北西グリーンランドにおける積雪化学特性

的場澄人（低温研）、山崎哲秀（アバンナット）、宮原盛厚（(有)アテック）、
 本山秀明、渡邊興亜（極地研）

Chemical property of snow in northwestern Greenland

Sumito Matoba (ILTS), Testuhide Yamasaki (Avagaaq), Morihiro Miyahara (ATEC Inc.)
 Hideaki Motoyama, Okitsugu Watanabe (NIPR)

Surface snow samplings and snow pit observations were carried out on the traverse route from Siorapaluk to inland ice sheet at northwestern Greenland on April, 2000. The concentration of Na⁺ from sea salt was significantly decreased with increasing elevation of sampling point. Heavy metals (Pb, Cu, Zn) from anthropogenic source were gradually increased with elevation, while NO₃⁻ and non sea salt SO₄²⁻ did not increase. The variations of the concentrations of terrestrial elements do not show the marked tendency. Terrestrial elements of Al ratios showed the constant value and were different from crust average value.

観測

2000年4月上旬よりシオラパルクから
 ミーハン氷河を經由し氷床の尾根沿いに、
 氷床内陸（最終到達地点 78°09'43"N,
 64°44'39"W, 1800m a.s.l.）までの積雪調査
 を行った。観測の移動手段には、人為起源
 汚染物質を研究対象としていることから、
 内燃機関を持つスノーモービルなどを避け
 て、犬ソリを使用した。

観測ルート沿い 19 地点での表面積雪採
 取と 7 地点での積雪断面観測と試料採取
 を行った。採取した試料は融解・処理した
 後持ち帰り、主要成分濃度、酸素の安定同
 位体比、重金属濃度の測定を北大低温研及
 び国立極地研究所で行った。

結果と考察

図 2 に観測ルート上で採取された表面
 積雪中の Na⁺、NO₃⁻、非海塩性 SO₄²⁻、Al、
 Fe、Pb、Zn、Cu の濃度と標高の関係を示
 す。海塩起源である Na⁺は海岸線から遠ざ
 かり標高が上がるにつれ濃度が急激に減

少した。地殻起源である Al、Fe 濃度は標高による変動を示さなかった。Fe と Al の濃度は高い相関を
 示し（ $r^2=0.91$ ）濃度比は Fe/Al=0.977 を示した。この値は地殻の平均組成の比（Fe/Al=0.68）と異なる。
 V、Mn、Co、Ba、Th は Al と高い相関（ >0.85 ）を示したことから地殻起源だと思われる。これら元素
 と Al との濃度比も標高によらず、地殻の平均値と異なる値を示した。このことから、1800m までの積
 雪中に含まれる地殻起源物質は、特定のソースから供給されていると考えられる。

人為起源である NO₃⁻、非海塩性 SO₄²⁻も標高による変動を示さなかったが、Pb、Zn、Cu は内陸に行
 くに従い徐々に減少する傾向を示した。この挙動の違いは、ソース及び輸送中の大気からの除去過程
 の違いによるものと考えられる。

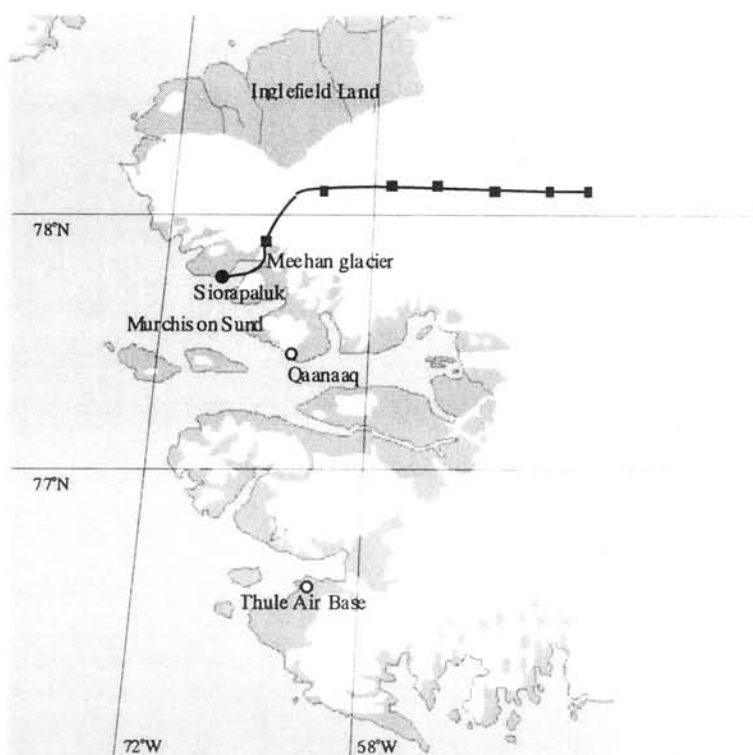


図 1. 観測ルート

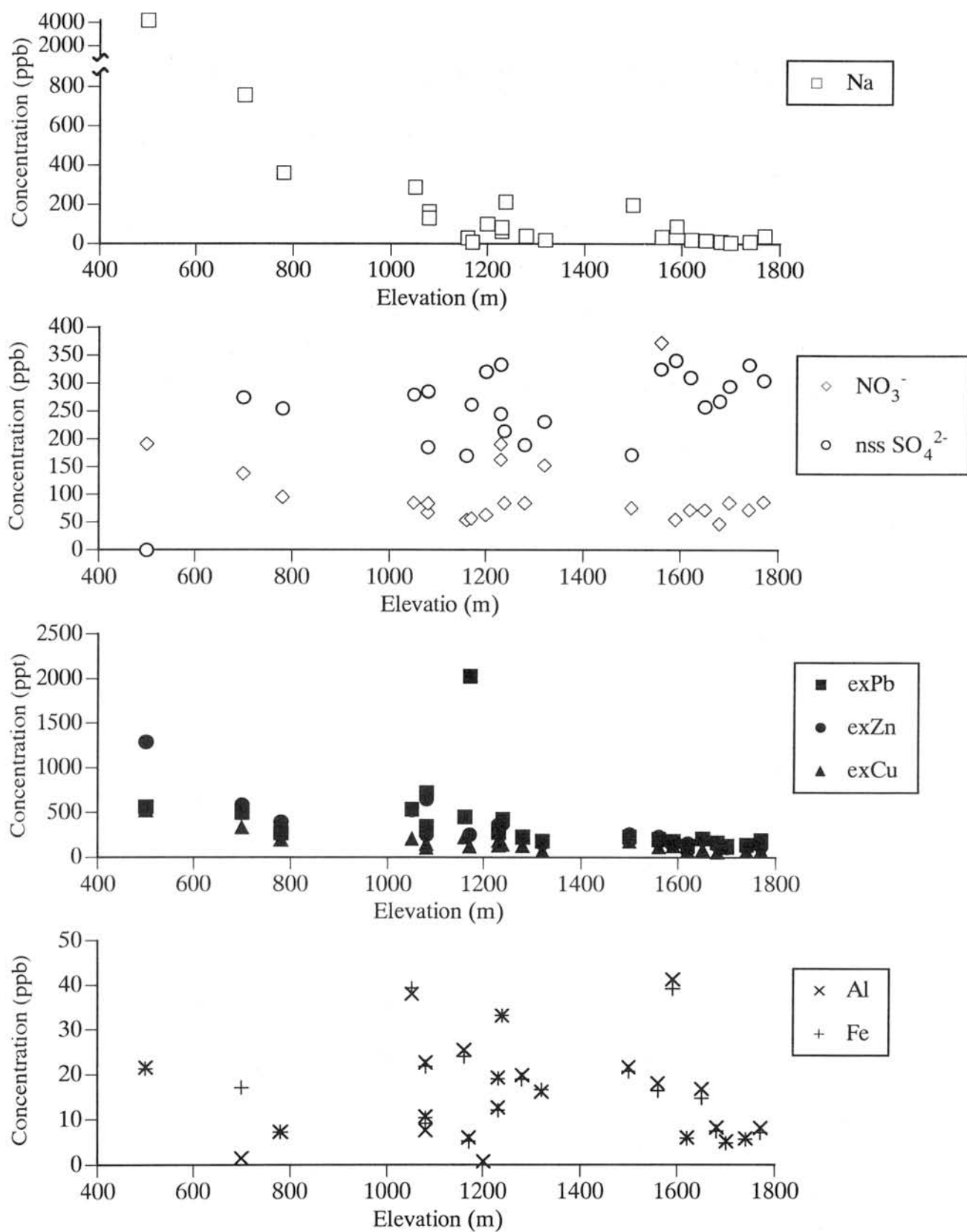


図2. 標高と化学成分濃度の関係

南極白瀨流域における氷床変動観測

○古川晶雄（国立極地研）、鈴木利孝（山形大理）、松岡健一（北大低温研）、
福崎順洋（国土地理院）、本山秀明、渡邊興亞（国立極地研）

Study on dynamical behavior of ice sheet in Shirase drainage basin in east Dronning Maud Land, Antarctica

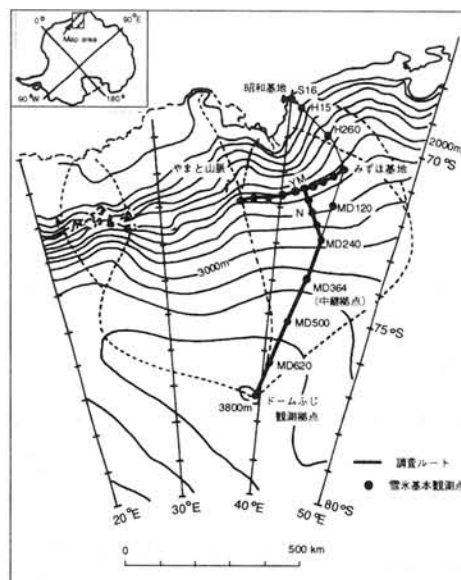
T. Furukawa, T. Suzuki, K. Matsuoka, Y. Fukuzaki, H. Motoyama and O. Watanabe
The 40th Japanese Antarctic Research Expedition (1998–2000) conducted glaciological research in east Dronning Maud Land, Antarctica. To identify the ice flow effect on mass balance of ice sheet in the present, observational route was newly installed along the principal flow line from Dome Fuji Station toward Shirase Glacier and along the contour line of 2200 m. The precise positioning of the observational points was conducted using the differential GPS method.

第40次日本南極地域観測隊気水圏系による雪氷観測の概要と観測ルート沿いにおいて実施した氷床変動観測について報告する。第40次隊は第38次隊に開始された第Ⅴ期5か年計画の3年次にあたる。氷床変動システムの研究観測計画では「東南極における氷床表面質量収支に関する研究」、「氷床変動のダイナミクスに関する研究」、「氷床の質量収支に関わる諸プロセスに関する研究」の3つの研究課題が設定されている。第40次隊では「氷床変動のダイナミクス」と「氷床の質量収支に関わる諸プロセス」の2つの研究課題に重点をおいた観測を内陸域において実施した。

氷床変動のダイナミクスに関しては、氷床変動の実態を長期間にわたって観測し、流域の質量収支を論じる上で重要となる流域の質量フラックスを求めるために、ドームふじを頂上とする「白瀨流域」の主流沿いに新規に設置した観測ルートと2,200mの等高線沿いに設置されているルート沿いに、表面高度と流動速度を精密に測定するための基準点を新たに設置した。

観測ルート沿いには30～40 km 毎にGPS基準点を設置し、昭和基地との干渉測位によって精密測量を実施した。これらの基準点は2001年以降に再測される予定である。これらの結果を解析することにより流動量を求めることができる。

当日は主流線沿いと等高線沿いの表面地形プロファイルについて紹介する。



第40次隊による雪氷観測ルート

Glaciological observations on Heito and Langhovde Glaciers, Antarctica: preliminary results of the JARE-41 field campaign.

Frank Pattyn¹ and Kouichi Nishimura²

¹Department of Geography, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel, Belgium.

²Institute of Low Temperature Sciences, University of Hokkaido, Sapporo, Japan.

ABSTRACT

During the JARE-41 summer field campaign, glaciological observations were carried out on two glaciers along the Antarctic coast. The aim of this study is to determine the importance of coastal processes – such as ice-stream behaviour, the complex interaction of the ice sheet with the substratum, and surface ablation – in the general dynamical behaviour of the ice sheet in the Shirase drainage basin. Langhovde glacier is a coastal outlet glacier / ice stream draining into Lützow-Holmbukta, East Antarctica. Heito Glacier is a smaller local glacier, terminating on land, and a tributary of Langhovde Glacier. During the austral summer 1999-2000 (JARE-41), glaciological observations were carried out on both glaciers.

On the surface of Heito and Langhovde Glaciers, bamboo stakes were set out to measure surface accumulation/ablation and surface motion using precise differential GPS. Ice thickness measurements were carried out using a Narod ice radar and a radio echo sounder developed at Scott Polar Research Institute (SPRI, Cambridge). In total, one longitudinal and four cross-profiles on Heito Glacier and one longitudinal and one cross-profile on Langhovde Glacier were monitored. In addition, two strain networks were set up on Langhovde Glacier. Besides glaciological measurements, a number of hydro-meteorological measurements were carried out as well.

Preliminary results show that Heito Glacier is characterized by a shallow ice thickness (30 – 200 m), a slow horizontal movement (maximum of 2 m/a), and relatively high ablation rates and associated vertical surface motion (2 – 3 m/a). The detailed radar sounding profile revealed that the longitudinal bedrock profile consists of a series of bumps, which are slightly reflected in the surface profile (Fig. 1). The presence of sub-glacial water was detected in the downstream part of Heito Glacier.

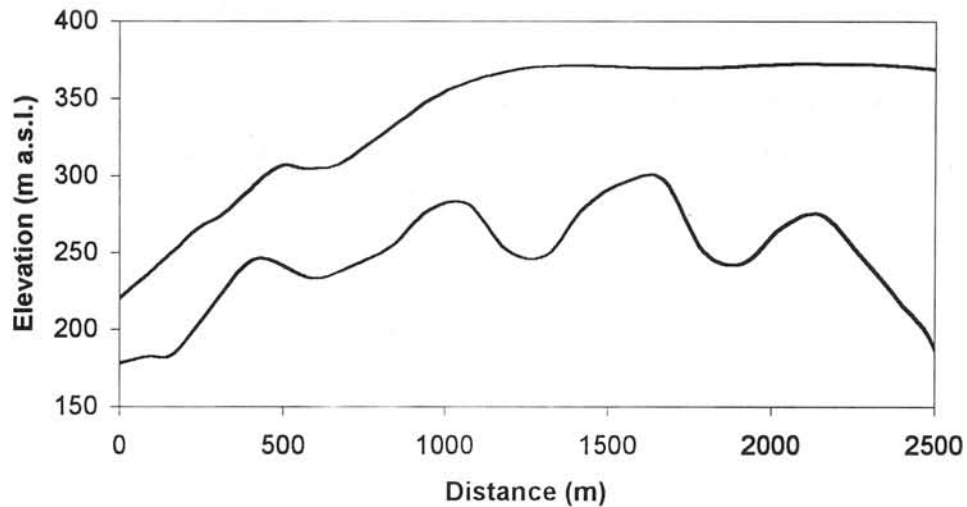


Fig. 1: Surface and bedrock longitudinal profile of Heito Glacier, starting from the ice front (0 km) to the confluence zone with Langhovde Glacier in the west (2500 m).

Contrary to Heito Glacier, Langhovde Glacier is a fast-flowing outlet glacier characterized by surface velocities of the order of 50 m/a in the grounded zone. The bedrock of Langhovde Glacier along the cross profile was found to lie well below sea level with ice thickness of the order of 800 – 1000 m. From the sides of the glacier ice thickness increases rapidly, demonstrating that Langhovde Glacier is lying distinctively in a sub-glacial trench. Also ablation is a prominent feature of this glacier.

A discussion on the ice dynamics of both glaciers will be given based on the preliminary results of ice motion and thickness measurements and the analysis of both strain networks.

航空機航空写真・VTR・衛星画像比較による南極宗谷海岸の消耗過程の推定

齊藤隆志（京大防災研）・白岩孝行（北大低温研）・本山秀明（極地研）・榎本浩之（北見工大）・

古川晶雄（極地研）・横山宏太郎（北陸農試）・渡辺興垂（極地研）

An examination of ablation processes by use of Air photo, VTR, and AVNIR image on SOYA coast, Antarctica.

Takashi SAITO (Kyoto Univ.), Takayuki SHIRAIWA (Hokkaido Univ.), Hideaki MOTOYAMA (NIPR), Hiroyuki ENOMOTO (KIT), Teruo FURUKAWA (NIPR), Kotaro YOKOYAMA (Hokuriku National Agriculture Experimental Station), and Okitsugu WATANABE (NIPR)

Ablation processes on SOYA coast were examined by using graphic data (Air photo, VTR, and AVNIR image). The comparison of these photos reveals the ablation processes successfully. The ablation area can be characterized by surface conditions, that is, bare ice field, depression area filled by drifting snow, and the end of slope.

はじめに

氷床の質量収支において、沿岸部の消耗過程には定量的に未知の部分が多い。衛星画像情報と航空機から得られるより詳細な情報との比較を視野に入れて、この領域で生じている消耗過程の様式の検討をおこなった。

領域・手法

対象領域は東南極宗谷海岸域で、特に向岩付近を対象とした。利用した画像は、航空機（セスナ）からの空中写真、ビデオ（8mm）、AVNIR 衛星画像である。空中写真とビデオ画像は、モザイク状につなぎ合わせた。（（株）アジア航測：接合名人を使用）これらの異なる時期の画像を比較することにより、消耗過程の様式を推定した。

沿岸域における消耗の素過程

- 融解が生じている範囲は、3 領域（表面凹部へドリフトが堆積する領域・裸氷域・末端の傾斜が小さく融解量が多いと考えられる領域）に大別される。
- カタバ風により輸送されたドリフトの氷床末端（海岸線）・表面凹部への堆積が融解する。
- 傾斜の大きい裸氷域ではドリフトの堆積はないか、少ない→裸氷表面が融解する。
- 表面凹部への堆積部での融解の可能性があり、下方に水流を形成する場合がある。
- 岩が露出している部分、積雪の被覆が少ない部分では、周辺よりも融解量が多い可能性がある。

今後の課題

空中写真などの異なる時期のデータの統合と、これらの領域で融解量を定量的に測定することが消耗量分布の把握に必要と考えられる。

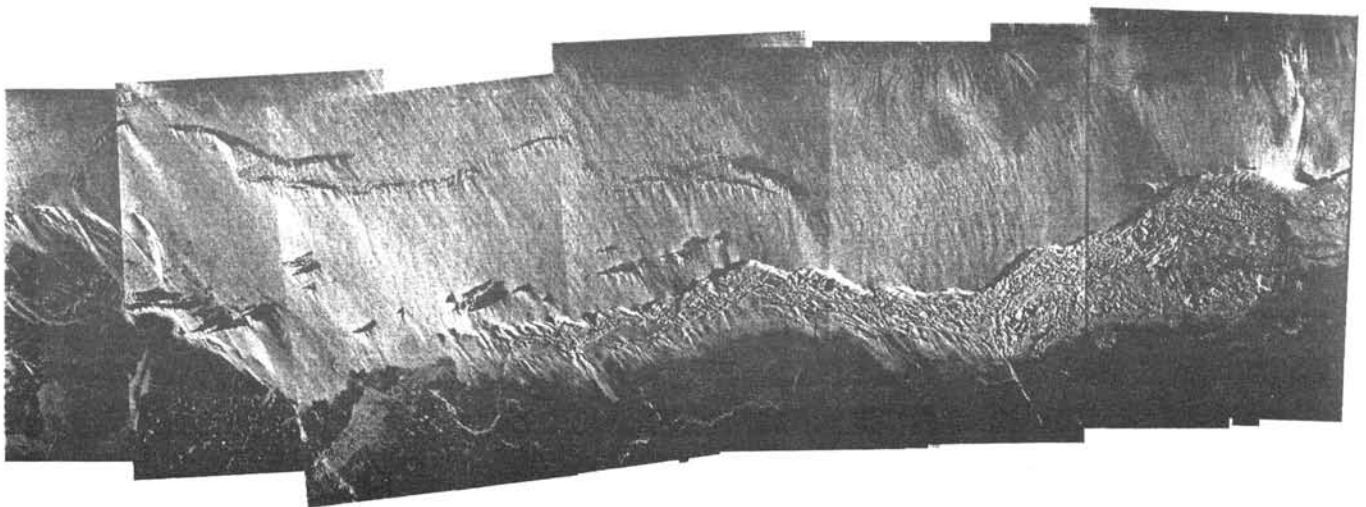


図 1. 航空機から撮影した空中写真のモザイクの例 向岩付近

氷期・間氷期の南極氷床形状の grounding line 位置に対する応答

齋藤冬樹、阿部彩子 (東京大学気候システム研究センター)

Response of Antarctic Ice Sheet topography to position of grounding line

SAITO Fuyuki, Ayako Abe-Ouchi (CCSR, Univ. of Tokyo)

Numerical experiments are performed for Antarctica ice sheet to study about the response of surface topography and ice volume to position of grounding line. Comparison of steady state experiments (present control case and grounded major ice shelf case) show that dome F elevation is little sensitive to the position of grounding line, and that ice sheet volume is much affected.

はじめに 氷期間氷期サイクルの気候変動を通じて氷床と棚氷の境界 (grounding line) が大きく進出/後退し、氷期の海水準低下に大きく寄与していたことが知られている。例えば最終氷期極大期には Ross 海や Weddell 海の大陸棚に棚氷が着床したと考えられている。Nakata and Lambeck(1988) の固体地球の粘性 model を用いた推定によると 35m の海水準変化に相当する。この効果の dome Fuji 高度に対する影響を知ることは、コア解釈にとって重要である。

本研究では dome Fuji 高度や海水準低下に対する氷床の端の位置の効果を考察する。
数値 model 用いた数値モデルは氷床三次元熱力学力学モデルで以下の特徴をもつ。

- Shallow Ice 近似をもとにした三次元流動モデル
- 解像度は水平 40km, 鉛直には 26 層
- 予報変数は氷床の流速、温度、年代、の三次元分布および氷厚の二次元分布
- 境界条件は基板地形、氷床の表面質量収支、表面温度および地殻熱流量
- 温度に依存した構成方程式
- 氷の温度が融点に達したら融点に固定する (質量収支には影響しない)
- 棚氷は扱わず、棚氷との境界は別に規定する

実験 (1) 標準実験 dome Fuji の位置は基板地形に大きく左右される。基板地形として Drewry(1983) に JARE の観測の基板地形 (Nishio et al. 1995) を加えた data を用いて実験すると、dome Fuji の位置が観測に比べて 200km 程度東側にずれる。これは dome Fuji より西側が基板高度の不確定であると考えれば説明がつく。

本研究では仮に dome Fuji 周辺および西側の領域を dome Fuji の基盤高度まで持ち上げて、dome Fuji の位置が正しく表現できるように調整した。

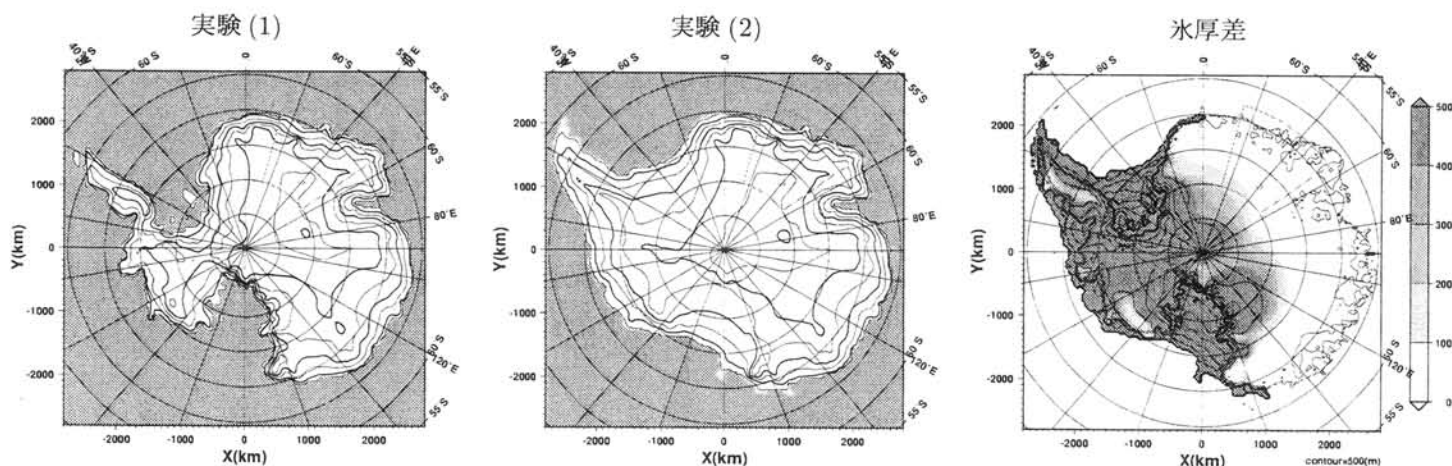
以降基盤地形は '変更した' 基盤地形を用いる。

実験 (2) 大陸棚を埋めた実験 用いた格子上の data で計算した現在の南極 grounding line での基盤高度は平均して約 -300m である。氷床端の進出に対する内陸部の応答を見るために、Ross および Weddell 海の大陸棚上 (の基盤高度が -1000m 以上の領域) に氷が全て着床した場合を想定した実験を行った。表面質量収支などの境界条件は標準実験と同様にし定常解を求めた (下図の左と中央。等高線は 500m の間隔)。

標準実験と比較すると体積の差 (下図右) は $1.31 \times 10^7 \text{ km}^3$ であり、海水準上昇に換算すると約 30m である。氷厚変化の感度は地域によって異なり、西南極には影響が大きい (500m を越える氷厚変化) が、東南極に対しては少ない。特に East Queen Maud Land 領域で影響が少なく高々 20m 程度である。

まとめ grounding line 前進の南極氷床の体積への寄与は、現在の南極体積の 45% の量に相当し、大いに貢献している。Nakata and Lambeck(1988) の推定値を同様に換算すると 52% に相当し、本研究の結果はそれとよく一致している。一方、grounding line 前進の Dome Fuji 標高への寄与は、現在の標高 3810m の高々 0.5% であり体積変化と比較して、非常に感度が低い。従って Dome Fuji のコア解釈にとって影響が少ないことがわかった。

氷期間氷期サイクルの grounding line の遷移を扱うには棚氷の導入が必要であり、現在作業中である。



The March 25, 1998 Antarctic Earthquake (Mw=8.1):

Great earthquake caused by postglacial rebound

Masaki Kanao (NIPR) ・ Seiji Tsuboi (Yokohama City Univ.)

A large Mw=8.1 earthquake occurred off southeast coast of Antarctica near the Balleny Is land region on March 25, 1998. We inverted teleseismic body-wave records to determine the rupture pattern using an iterative deconvolution method. The source parameters obtained are: the centroid depth=20km, (strike, dip, rake)=(282, 83, -1), the seismic moment $M_0=1.6 \times 10^{21}$ Nm (Mw=8.1), the length $L=200$ km, and the average slip $D=4.4$ m. This earthquake occurred in the mid-plate but there has been no reports of such large earthquakes in this region. Furthermore, the source mechanism cannot be related to the plate motion inferred from the nearby transform faults. Therefore this earthquake is not a usual tectonic event. Here we show that the compressional axis of our source mechanism coincides with the horizontal crustal motion predicted by the Earth's response to present-day and past ice mass changes in Antarctica. Our result suggests that the 1998 Antarctica earthquake is caused by the postglacial rebound in the Antarctica.

1998年3月25日に南極大陸近傍で起きた巨大地震は、断層メカニズムが震央近辺のプレートテクトニクスとは全く正反対のメカニズムを示している。我々は、過去の南極大陸における氷床の厚さの変化から期待される地殻変動の方向と大きさが、断層メカニズムと一致することを示してきた。James and Ivins (1998)の、最終氷期極大期から南極大陸の氷床が退氷する期間を1万2千年前から5千年前とし、氷床の厚さの変化に伴う南極大陸の地殻変動を粘性変形も考慮に入れて見積もった計算では、この地震の震央近くでは氷床が薄くなり大陸地殻は隆起している。それに伴い北東方向に約1mm/yrの水平方向の地殻変動が予想される。この地殻変動の方向は断層メカニズムのP軸の方向と一致しており、変形量も5千年間で約5mとなり平均くいちがい量と一致する。このことはこの地震のメカニズムが、南極大陸の氷床によるリバウンドで説明できる可能性があることを示している。この地震のメカニズムについては、Nettles et al (1999)、Kuge et al (1999)、Henry et al (2000)などにより詳細な解析がなされているが、その原因となったメカニズムについては進展はない。Henry et al (2000)は未知の既存断層に沿っての破壊であると結論しているが、その原因については特定していない。

一方、Wu and Johnston (2000)は、北アメリカの地震活動が退氷によるリバウンドによって説明できるかを、球対称地球モデルにおける粘性変形を考慮した理論計算によって議論している。彼らは、断層面の安定性を応力に基づ

いて計算しその時間変化を求めた。それによると、インディアナ州までの領域では退氷によるリバウンドは地震活動の原因となりうるが、1811年のニューマドリッド地震は氷河の縁からの距離が大きすぎて、退氷による応力は原因となり得ないとしている。南極地震についても、今後Wu and Johnston (2000)の手法により断層面の安定性を調べることが必要である。

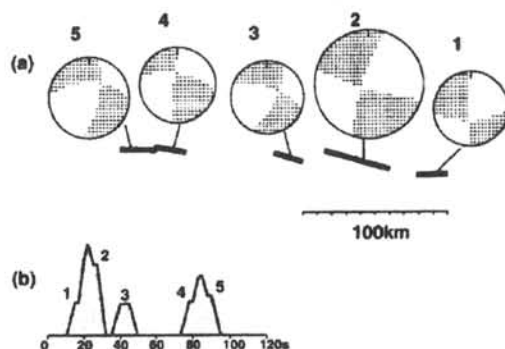


Fig.1 Results of body wave inversion. (a) Spatial distribution of subevents and the mechanism diagram, the radius of which is proportional to the moment. (b) Moment-rate function.



Fig. 2 Predicted crustal motion in south-east Antarctica taken from Figure 13(b) of James and Ivins (1998). Open circle denotes the location of the epicenter of this earthquake.

水の凍結による同位体分別数値計算と東南極ハムナ氷河底面氷の凍結機構

飯塚芳徳（総研大）・渡辺興亜（極地研）

A simulation for an isotopic fractionation by freezing and a freezing mechanism of the basal ice at Hamna glacier, East Antarctica

Y. Iizuka (Grad. Univ. Advanced Studies), O. Watanabe (NIPR)

We carried out a simulation for an isotopic fractionation by freezing, and then compared the result of the simulation with isotopic fluctuations observed in the basal ice at Hamna glacier, East Antarctica. As a result, the basal ice is suggested to have been formed by refreezing of meltwater in an open system. The refreezing of the basal ice is suggested to be carried out that a ratio (S:I) of a freezing rate(S) to an input rate(I) of water is between 1000:9 and 1000:4.

1. はじめに

底面氷とは氷河・氷床の底面部に存在し、基盤起源の岩石粒子を保持している氷である。底面氷は氷河・氷床上流の基盤付近で形成されるため、底面氷の形成過程の解明は未解明な部分の多い氷河・氷床上流地域の氷床底面状態の情報をもたらす。

すでに東南極ハムナ氷流地域の底面氷は融解再凍結過程で形成されたことが示唆されている。図1にハムナ底面氷の気泡氷-透明氷層構造、安定同位体比を示す。ハムナ底面氷の同位体プロファイルは透明氷層中に極大値を持つ。隣接する透明氷層と気泡氷層の同位体値($\delta^{18}\text{O}$ 値)の差は3~4%であり、水が氷に相変化するときの同位体分別量と等しい。この結果はハムナ底面氷中の透明氷層が融解再凍結過程によって形成されたことを示唆する。

本研究では、水の凍結による同位体分別数値計算を行い、ハムナ底面氷の凍結機構について考察したので報告する。

2. 水の凍結による同位体分別数値計算

同位体分別計算には¹⁾Souchez and de Groote (1985)の方法を用いた。厚さLの水を片面から凍結させる。同位体の分別がレイリー分別によって行われていると仮定し、凍結したある地点 ΔL の水の同位体値はその地点に存在していた水の同位体値と分別係数で決定され、氷層と水層の境界付近の水層の同位体値は対流と拡散によって残存水内で平均化されると考える。一度氷になった部分の同位体値は氷の拡散係数が水の拡散係数に比べて極めて小さいので変化しないと仮定した。本数値計算は厚さLを1000等分($L=1000 \times \Delta L$)して、差分法で行った。計算に必要なデータは初期の水の同位体値、水の凍結速度(S)、系に流入する水の同位体値、流入速度(I)である。凍結中の凍結速度、流入速度は一定とした。

数値計算によって求められた分別曲線を図2に示す。図2の細曲線は初期水と流入水の同位体値を-45.1‰、-48.7‰としたときの計算結果である。流入する水が存在しないとき、

すなわち閉鎖系での凍結の場合、分別曲線は凍結末期に向かうにつれて指数関数的に減少する（曲線①; S:I=1000:0）。対照的に、流入速度が増加する（開放系になる）につれて分別曲線は対数関数的に減少し、凍結末期にはある一定の値に収束した（曲線②; S:I=1000:100）。このように、数値計算の結果は 1)分別曲線の形が凍結速度と流入速度の比(S:I)で決定されること、2)開放系の凍結と閉鎖系の凍結を分別曲線の形から区別できることを示した。

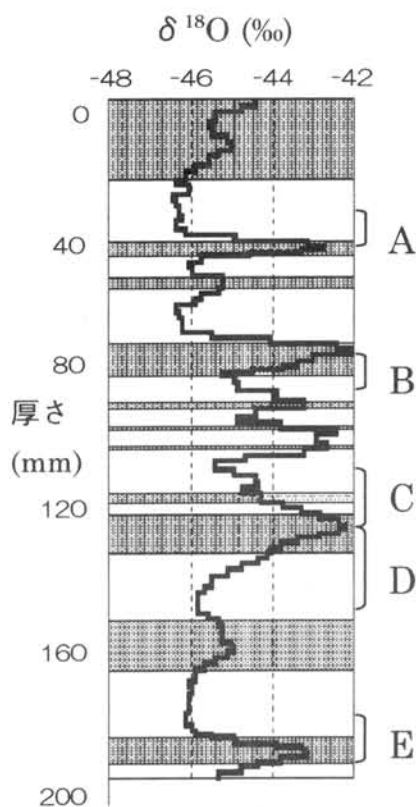


図 1. ハムナ底面氷の気泡層構造と酸素安定同位体比の鉛直プロファイル。黒枠は透明氷層、白枠は気泡氷層を示す。

3. 底面氷の分析結果と計算結果の比較。

図 1 に示されている同位体プロファイルの斜面 A~E がそれぞれ一回の凍結過程で形成されたと仮定する。図 2 には計算された分別曲線の形に最も適するように斜面 A~E が描かれている。計算結果と斜面 A~E を比較すると、A~E の斜面は S:I=1000:4~1000:9 の曲線でよく表現されている。ハムナ底面氷は開放系（S:I=1000:4~1000:9）の凍結環境で形成されたと考えられる。

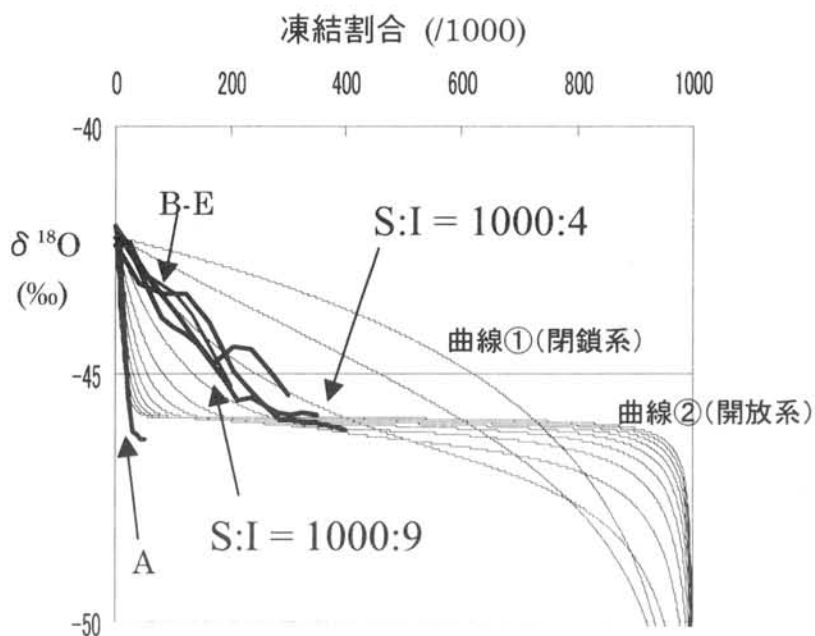


図 2. ハムナ底面氷の $\delta^{18}\text{O}$ 値（太線 A~E）と計算による凍結した氷の $\delta^{18}\text{O}$ 値（細線）の比較。細線は S=1000 に対して I=0~100（整数 0~10 の二乗）と変化させた(全部で 11 線)。

¹⁾Souchez, R. A. and J. M. de Groote (1985): δD - $\delta^{18}\text{O}$ relationships in ice formed by subglacial freezing: paleoclimatic implications. *J. Glaciol.*, **31** (109), 229-232.

氷への物質の取り込みと氷界面上での物質の濃度分布の観察

佐藤啓市, 竹中規訓, 坂東博, 前田泰昭 (大阪府立大学大学院 工学研究科),
古川義純 (北海道大学 低温研究所)

Observation of Incorporation of Solutes into Ice and Distribution of Solutes on the Interface of Ice

K. Sato, N. Takenaka, H. Bandow, Y. Maeda (Osaka Prefecture University, Graduate School of Engineering) and Y. Furukawa (Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University)

Incorporation pattern of solutes into ice and distribution of solutes on the interface of ice were observed when sample solution was frozen and ice crystals were grown in one direction. The interface of ice fell into disorder with the formation of ice crystal. Furthermore, the other solution was added on the interface of ice during the growth of ice crystal. The added solution was concentrated into the concave part of the interface of ice. Consequently, the added solutes were concentrated into the vertical lines against the interface of ice.

1. はじめに

これまでに亜硝酸イオンを含む溶液を凍結させた時に亜硝酸の酸化反応が促進されることや凍結により揮発性物質が揮散して水中の物質組成が変化すること²⁾を報告してきた。これらの現象は主に凍結濃縮によって引き起こされる。この凍結濃縮の程度を支配する要因や凍結濃縮によって物質が水中あるいは溶液-氷界面上でどのように分布しているかについては未知の部分が多く、これらを明らかにすることは先に述べた凍結による諸現象の機構を解明する上で重要である。本発表では基礎的検討として成長する氷に物質を添加した時の氷への物質の取り込みと氷界面上での物質の濃度分布を CCD カメラに録画することにより調べ、その結果を報告する。

1) Takenaka *et al.* Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., **7**, 24-32 (1993)

2) Sato *et al.* Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., **10**, 138-148 (1996)

2. 実験方法

セル (55mm×10mm×3mm) の中に試料を入れ、セルの片端を低温 (-20℃) に別の端を高温 (+24℃) に調整する。この時、セルの中の試料は低温側から高温側へと凍っていき、氷結晶の成長が観察される。種々の希薄電解質水溶液を凍結し、氷結晶の成長過程で界面付近にマイクロシリンジを用いて種々の水溶液 (0.5μl) を添加することにより、氷への物質の取り込みと氷界面上での物質の濃度分布を観察した。記録は CCD カメラとビデオデッキを組み合わせた録画システムによって行った。

3. 観察結果

写真1は28%アンモニア水 5ml と 0.5M 硫酸銅 5水和物水溶液 5ml を混合して銅アンミン錯体を生成させた水溶液を凍結させた時の氷結晶の成長を観察した写真である。氷結晶(写真の下部)が成長する様子が観察され、氷界面のラフニングが生じる様子が観察された。

写真2は1mM 塩化ナトリウム水溶液 10ml を凍結させて、氷結晶が成長する途中で0.1M 過マンガン酸カリウム水溶液 0.5μl 添加した時の過マンガン酸イオンが氷に取り込まれる様子を観察した写真である。この場合も写真1と同様に氷界面でラフニングが起こっていて、過マンガン酸イオンはラフニングしている氷表面の谷間の部分で特に濃縮され、氷の中に取り込まれることが観察された。その結果、氷中では過マンガン酸イオンは氷界面に対して鉛直方向に濃縮された筋が連なって分布することが観察された。

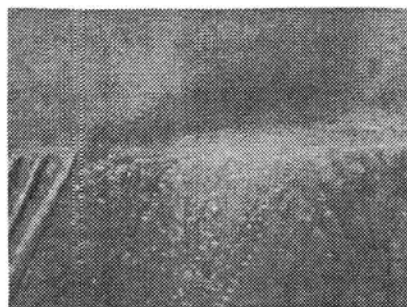


写真1 ラフニングが生じる様子

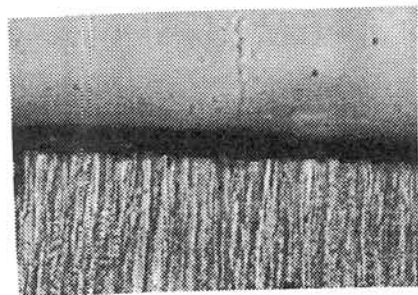


写真2 物質の氷への取り込みと濃度分布

北見における積雪観測(1999-2000)と積雪層構造モデルの検証

八久保 晶弘 (北見工大)・青木 輝夫 (気象研)・榎本 浩之 (北見工大)

Field observation and numerical model of snow in Kitami, 1999-2000

A. Hachikubo (Kitami Institute of Technology), T. Aoki (Meteorological Research Institute)
and H. Enomoto (Kitami Institute of Technology)

Meteorological and snow-pit observations were carried out in order to verify and improve a stratified snow structure model. Overall results comparing field observations and *Crocus* simulations during the winter 1999-2000 in Kitami were presented and discussed. *Crocus* overestimate snow depth and underestimate albedo and snow surface temperature, hence the heat balance process of *Crocus* needs further consideration.

はじめに

積雪層構造が様々な気象条件に対する応答の結果であると考えれば、気象データから積雪層構造を再構築することは原理的に可能である。実用的な雪崩予報のためにフランス気象庁で開発された、積雪層構造を推定する 1 次元数値モデル: *Crocus* (Brun *et al.*, 1989, 1992) は現在、各国の積雪研究者の手によって検証や改良が行なわれている。入力パラメータは、気温・風速・湿度・降水量・雨雪判別・大気放射量・直達日射量・散乱日射量・雲量の 9 つの気象要素であり、積雪層構造 (雪質・粒径や雪温・密度・含水率の各鉛直プロファイル) や雪面における熱収支の時系列データが出力される。

筆者らは、*Crocus* の問題点を解明を目的として、野外観測データによる検証を行ってきた。本発表では北見における観測データを用いて明らかになった、雪面アルベドの再現過程や雪面熱収支の問題点などについて報告する。

北見における野外観測

筆者らは、1999-2000 年にかけて、北見工大寒地気象観測室において気象観測と積雪断面観測を同時に行なった。図 1 は数日おきに行なわれた断面観測の結果である。12 月中旬の積雪の少ない時期に形成されたしもぎらめ雪の層は、2 ヶ月以上にわたって積雪底部に保存されている。また、12 月下旬からの度重なる降雪は、新雪からこしまり雪、しまり雪を経てこしもぎらめ雪に変化している。しかし、これらの層はしもぎらめ雪まで発達することなく、3 月上旬に全層が 0℃ となってぎらめ雪に変化した。積雪中に顕著に見られる氷板やクラストはそれぞれ、降雨や気温上昇による表層の融解・再凍結によって形成されたものである。道東は典型的なしもぎらめ地帯であるが、今シーズンの降雪が比較的多かったために、積雪中の温度勾配が大きくなり、しもぎらめ雪が発達しにくかったと推定される。

Crocus の計算結果との比較

次に *Crocus* による積雪層構造の時系列変化の再現を試みた (図 2、scale は図 1 と同じ)。なお、*Crocus* のパラメータは default 値のままである。

12 月に形成された顕著なレインクラスト (ぎらめ雪) や、その下部のしもぎらめ雪はよく再現されている。また、レインクラスト上の降雪は新雪からこしまり雪を経て、最終的にはほとんどの層がこしもぎらめ雪に変化している。しかしながら、全体的な傾向としては積雪深を過大評価している (図 3)。特に、2 月頃からその差が大きくなりはじめ、計算終了日の 4/20 になってもなお積雪が残っている (実際の消雪日は 4/11)。そして、3 月になっても融解は表層付近にとどまり、全層が融解しはじめるのは 4 月からである。

雪面アルベドに注目してみると、*Crocus* はこれをかなり過大評価していることが分かる (図 4)。その理由として、*Crocus* では表面積雪の光学的粒径だけで雪面アルベドを決定しているために、積雪が少ないときの地面の影響や、光学的粒径の異なる多層構造の効果を *Crocus* は表現できないことが第一に挙げられる。加えて、不溶性不純物による可視域のアルベド低下を *Crocus* は考慮しておらず、冬期間に降下した汚れが積雪表層に蓄積されてくる融雪期には、なおいっそう過大評価することになる。

雪面温度については、平均すると約 2.2℃ の過小評価傾向が見られる (図 5)。すなわち、このことは雪面熱収支の各成分のバランスがうまく再現できていないことを示唆している。これは雪面アルベドの過大評価もその一因であるが、モデルのパラメータにはフランスアルプスで経験的に求められた値が使用されているため、今後は乱流輸送係数や積雪の圧縮粘性係数などを一つ一つ検証していく必要があると思われる。

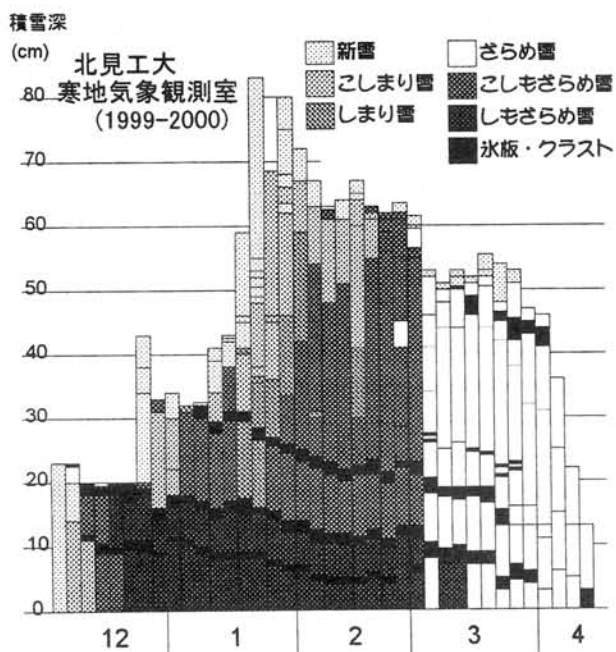


図1 積雪層構造の時系列変化 (野外観測)

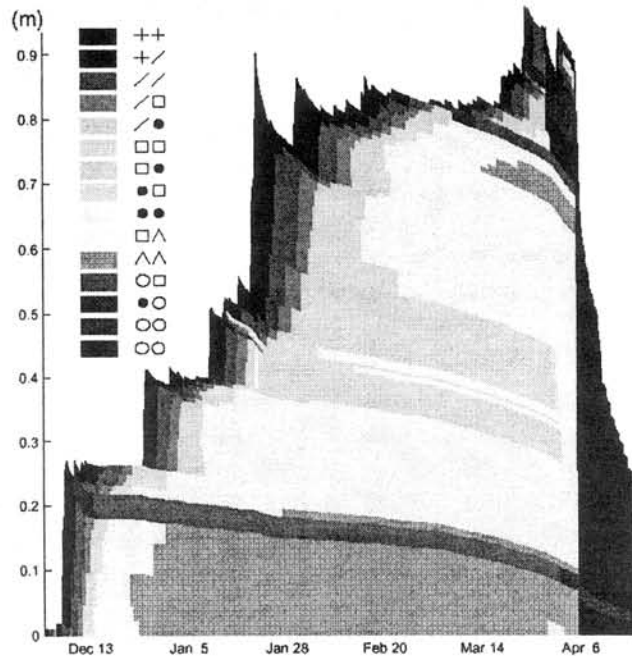


図2 積雪層構造の時系列変化 (Crocus)

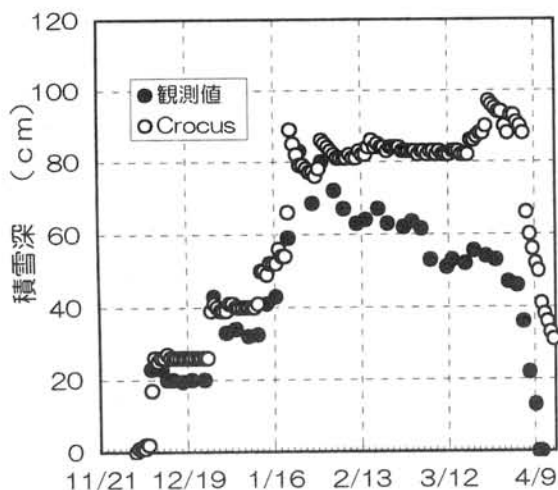


図3 積雪深の時系列変化

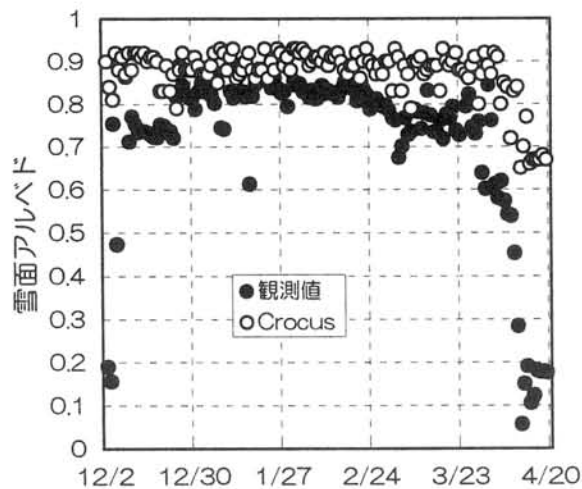


図4 12:00 の雪面アルベドの時系列変化

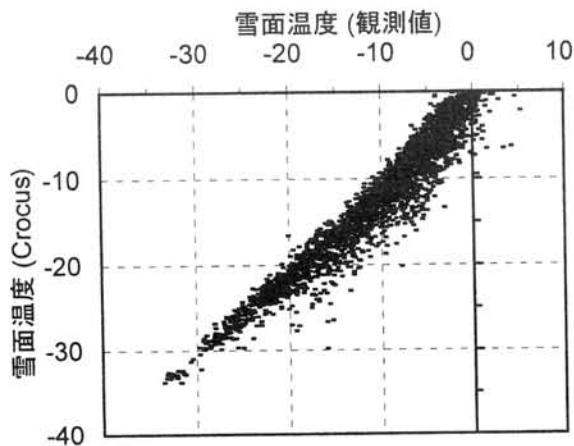


図5 雪面温度の実測とモデルとの比較

謝辞

北見工大寒地気象観測室の露場使用の際には、北見工大土木開発工学科利水研究室の佐渡公明教授、中尾隆志助手にお世話になりました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

Brun *et al.*, (1989) An energy and mass model of snow cover suitable for operational avalanche forecasting. *J. Glaciol.*, 35(121), 333-342.

Brun *et al.*, (1992) A numerical model to simulate snow-cover stratigraphy for operational avalanche forecasting. *J. Glaciol.*, 38(128), 13-22.

硬い雪面上における吹雪質量フラックスの鉛直分布

小杉健二・佐藤 威・佐藤篤司（防災科研・新庄）

Vertical profile of mass flux in drifting snow over hard snow surfaces

K. Kosugi, T. Sato and A. Sato

(National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention)

Wind-tunnel experiments of drifting snow were carried out to measure the vertical profiles of snow mass flux over hard sintered snow surfaces. Snow particles were supplied from the upwind end of the test section and were trapped by a box-type collector to obtain mass flux. The temperature was kept at -15°C and the wind velocity range was from 6m/s to 15m/s . The results showed that the vertical profile of mass flux had a maximum value at a height about 3cm above the snow surface when wind velocity was larger than 10m/s .

はじめに 吹雪における雪の質量輸送量は、風速だけでなく吹送距離や雪質にも依存すると考えられている。本報告では、低温風洞実験により、硬い雪面上における吹雪の質量フラックスの鉛直分布を風速と吹送距離の関数として測定した結果について述べる。

実験装置 実験に使用した風洞は、長さ 14m 、幅 1m 、高さ 1m の測定部をもち、全体が低温室内に設置されている。測定部の風上端には雪粒子供給装置があり、ここから一定の割合でほぐした雪粒子を風洞内に送り、吹雪を発生させることができる。風洞測定部の床にふりこでほぐしたしまり雪を 2cm の厚さに敷いた後、数時間以上放置し雪粒子同士を焼結させ、雪面を硬化させた。

吹雪質量フラックスの測定には幅 20cm 、高さ 30cm の重箱型吹雪計を用いた。重箱式吹雪計は、開口部の高さが 2cm または 5cm のネットを用いた雪粒子捕捉器を上下に9個重ねたものである。

実験時の温度は -15°C 、風速は 6m/s から 15m/s 、吹送距離は 1m から 13m とした。

実験結果 吹送距離 13m の点における質量フラックスの鉛直分布を図2に示す。雪面からの高さの増大とともに、質量フラックスはほぼ指数関数的に減少した。各高さにおける質量フラックスは、風速とともに

増大した。また、風速の増大とともに質量フラックスの高さに対する傾きが減少する傾向のあることがわかる。これらの特徴は、これまでの野外観測で得られた多くの測定結果と共通のものである。

本実験結果で特徴的なことは、風速が 10m/s 以上のとき、雪面上 3cm 程度の高さにおいて質量フラックスが最大値をとったことである。これは、雪面の硬度が大きく、従って、跳躍粒子が雪面へ衝突するときの反発係数が大きな値をもち、軟らかい雪面上に比べ跳躍が活発になったためと考えられる。

異なる吹送距離における測定から、風速が 15m/s の場合、吹送距離が 4m に達すると質量フラックスの鉛直分布がほぼ定常状態になることがわかった。

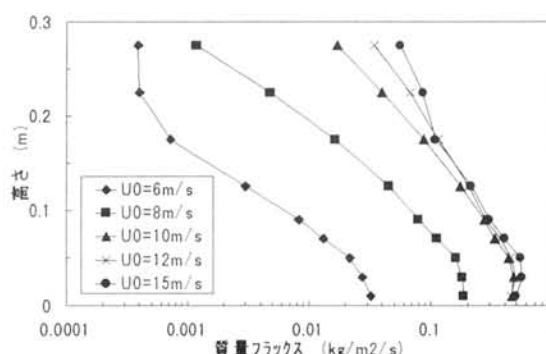


図1 質量フラックスの鉛直分布。吹送距離は 13m 。

アラスカ内陸部の一流域における積雪分布

小杉健二・鎌田 慈・佐藤 威・阿部 修・佐藤篤司（防災科研・新庄）・
吉川謙二（アラスカ大）

Snow cover distribution in a drainage area of inland Alaska

K. Kosugi, Y. Kamata, T. Sato, O. Abe, A. Sato (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) and K. Yoshikawa (University of Alaska)

Snow survey was conducted in a drainage area of inland Alaska in the snow-melt season in 1999 and 2000 to investigate the characteristics of snow cover distribution. Snow depth and water equivalent of snow were measured. The results showed that there is a linear relationship between water equivalent of snow and elevation. It was also shown that average density of snow was 0.17g/cm^3 to 0.19g/cm^3 irrespective of slope direction.

はじめに アラスカ内陸部における積雪分布の特徴を明らかにすることを目的とし、1999年3月と2000年3月の2度にわたりフェアバンクス近郊のカリブー・ポーカー・クリーク流域を対象として積雪調査を行った。積雪深、積雪水量、密度等と標高、斜面方位との相関を調べた結果を報告する。

観測方法 対象流域は南北6km、東西8.5kmの広がりを持ち、植生は主として針葉樹林であるが、南向き斜面の一部には広葉樹林がある。流域のほぼ中央に、連続観測を行う気象観測点がある（北緯 $69^{\circ}9'$ 、西経 $147^{\circ}33'$ 、標高260m）積雪分布調査としては、流域の斜面方位毎にいくつかの測線を取り、それぞれの測線上の数点ないし十数点において積雪深と積雪水量の測定を行った。

観測結果 図1は1999年3月の針葉樹林における積雪相当水量と標高の関係を表す。いずれの測線においても標高とともに積雪相当水量は増大することを示している。北向き斜面と南向き斜面それぞれの針葉樹林内における測定のみに着目すると、積雪相当水量 $H_w(\text{mm})$ と標高 $z(\text{m})$ の関係は直線によく近似され、それぞれ次の式で表される。

$$H_w = 0.12z + 31 \quad (\text{北向き斜面}) \quad (1)$$

$$H_w = 0.18z - 34 \quad (\text{南向き斜面}) \quad (2)$$

図2に同時期の積雪深と積雪水量の関係を示す。積雪の密度は斜面の方位にほとんど依存せず、平均密度は 0.17g/cm^3 （北向き斜面）及び 0.19g/cm^3 （南向き斜面）であった。

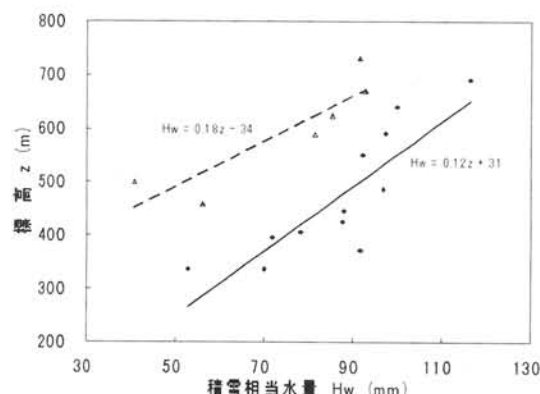


図1 積雪水量と標高の関係。▲：南向き斜面、●：北向き斜面。

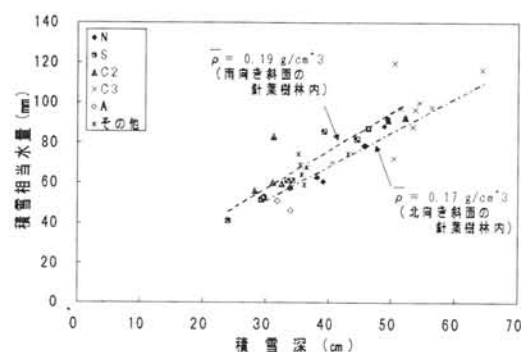


図2 積雪深と積雪水量の関係。

アラスカで観測された雪温鉛直分布の変化と積雪の構造

鎌田 慈・小杉健二・佐藤 威・阿部 修・佐藤篤司 (防災科研・新庄)、
吉川謙二 (アラスカ大学)

Winter variations of snow temperature profile and snow stratigraphy in Alaska

Y. Kamata, K. Kosugi, T. Sato, O. Abe, and A. Sato (Shinjo Branch of Snow and Ice studies, NIED),
K. Yoshikawa (University of Alaska Fairbanks)

Snow temperature profile was observed at the observation site of Alaska. In addition, snow stratigraphy was observed on March (1998, 1999, and 2000) in Alaska. Air temperature reached below -40°C in the middle of winter. Snowpack metamorphoses under strong temperature gradient and its structure changes to developed depth hoar. Thermal conductivity was also calculated from snow temperature profiles. The thermal conductivity of well-developed depth hoar layer was about $0.08\text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, which is relatively small compared with other snow types.

はじめに 地球温暖化の問題を含め、将来の気候変動を考える上で極域の雪氷は熱収支上の冷熱源として重要であり、これらの地域の雪氷素過程を明らかにすることが必要とされている。このような観測研究の一環として、米国アラスカ内陸部で1997年から通年気象観測を行っており、最近3年間は3月に現地で積雪調査を行ってきた。本報告では、雪温鉛直分布・熱伝導率の季節変化と積雪構造の特徴との関係について考察する。

観測地域と観測方法 観測地域は、アラスカ大学の演習林内にあるカリブーポーカークリーク流域である。北緯 $69^{\circ}9'$ 、西経 $147^{\circ}33'$ 、標高258mの地点には、気象観測塔が設置してある。雪温鉛直分布は、同地点で10cm置きにセンサーを取り付けた高さ70cmの雪温計と現地観測期間中に埋めたサーモレコーダー(TR-52, TandD社製)から得た。熱伝導率は雪温鉛直分布から非定常法により求めた。現地では、気象観測点をはじめ、流域内で多点にわたって積雪調査を行なった。

観測結果 3年間の観測で得られたアラスカの積雪構造の特徴は、積雪表層がこしもざらめ雪のほかは、発達した霜ざらめ雪で構成されていた。粒径は、地面に近づくにつれて大きくなり、地面付近では粒径10mmを超える結晶も見られた。

1999-2000冬期の雪温鉛直分布の季節変化を図1に示す。厳冬期には、表層の雪温は -30°C 以下になり、地面付近の雪温も氷点下であった。また、日射の影響がほとんどないため、数日間、安定してこのような雪温分布が保たれていることがわかった。そのため、積雪には

極地低温下で強い温度勾配がかかっていることがわかった。雪温鉛直分布から温度勾配を計算し、積雪構造と比較すると、強い温度勾配にさらされる表層よりも温度勾配の小さな下層の方が結晶は発達していた。これは、下層では温度が高いため水蒸気濃度が大きく、結晶は大きく成長するが、上層では温度が低いため水蒸気濃度が小さく、結晶の成長が小さかったためと考えられる。

雪温鉛直分布から非定常法により、積雪の熱伝導率を求めたところ、発達した粒径の大きな霜ざらめ雪の熱伝導率は、約 $0.08\text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ であった。これは同密度の多の雪質の熱伝導率と比べて小さく、Sturmら(1992)が、needle probe法により測定した値の範囲内にあった。

謝辞 この観測はアラスカ大学水文環境研究所のLarry Hinzman博士をはじめ、多くの皆様の協力を得て行なうことができました。ここに記して感謝いたします。

参考文献 Sturm et al. (1992). *J.G.R* **97(B2)**, 2129-2139.

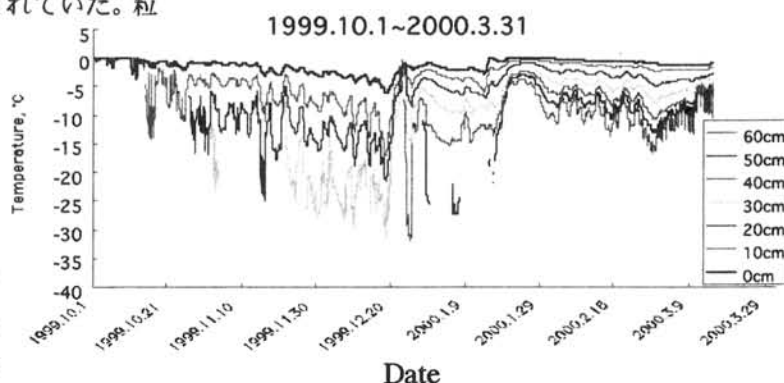


図1 雪温鉛直分布の変化(1999-2000冬期)

IX - 1

S16ードームふじ観測拠点ルートにおける積雪中化学トレーサーの地理分布測定

鈴木利孝（山形大）、飯塚芳徳（総研大）、古川晶雄（極地研）、松岡健一（北大）、神山孝吉（極地研）、渡辺興亜（極地研）

Measurement of spatial variation of chemical tracers in snow cover along the route from S16 to Dome Fuji station, East Dronning Maud Land, Antarctica.

T. Suzuki (Yamagata Univ.), Y. Iizuka (The Graduate University for Advanced Studies), T. Furukawa (NIPR), K. Matsuoka (Hokkaido Univ.), K. Kamiyama (NIPR), O. Watanabe (NIPR)

Concentrations of Cl^- , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} in snow cover were measured along the route from S16 to Dome Fuji station, East Dronning Maud Land, Antarctica. The concentrations of Cl^- and Na^+ were exponentially decreased with distance from S16 to 240km site on the route. Although the concentrations of Na^+ were nearly constant from 240km site to Dome Fuji station, 1000km distant from S16, the concentrations of Cl^- have increased from 740km site to Dome Fuji station. The result suggests that the Cl^- in the ice sheet are brought from not only sea salt but also the source existing in inland of Antarctica.

【目的】

大気圏を経由する地球物質循環研究の一環として、南極大陸沿岸部から内陸部に至る氷床表面における化学トレーサーの濃度分布を明らかにすることを目的とした。

【方法】

第40次南極地域観測隊において行われた2回の内陸旅行において、調査ルート沿いに往復路とも10km毎に積雪採取を行った。イオン分析計（東亜電波製IA-100型）により試料中の Cl^- 、 Na^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 濃度を測定した。

【結果と考察】

1998年12月30日から1999年2月10日まで行われたS16地点（69°02'S、40°04'E、591m a.s.l.）からドームふじ観測拠点（77°19'S、39°42'E、3810m a.s.l.）までの調査旅行（以下ドーム旅行）と、1999年8月23日から9月13日にかけて行われたみずほ基地（70°42'S、44°17'E、2250m a.s.l.）までの旅行（以下みずほ旅行）で得られた結果について報告する。

S16から採取地点までの区間距離に対する Cl^- 、 Na^+ の濃度変化を図1と2に示す。両イオンとも、その濃度分布に、みずほ旅行とドーム旅行、あるいはドーム旅行の往路（10/30/98-1/25/99）と復路（1/25/99-2/10/99）の時間差による有意差はなかった。沿岸部S16における Cl^- 、 Na^+ 濃度は、それぞれ約0.6mg/kg、0.3mg/kgであり、これらの値は内陸へ向かうとともに減少して、内陸240km地点ではS16より一桁小さい値となった。 Cl^- 濃度は240km地点から740km地点まではほぼ一定であったが、740kmを超えると増加傾向を示し、ドームふじ観測拠点（S16から1000km地点）では740km地点の約2倍の値となった。 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 濃度分布もこれとほぼ同様の傾向を示した。一方、 Na^+ 濃度は240km地点からドームふじ観測拠点まではほぼ一定であった。 Cl^-/Na^+ 比は内陸に行くほど絶対値もばらつきも大きかった。これらの結果は南極大陸沿岸部の海塩エアロゾルが氷床表面に除去されながら内陸部へ空輸されていること、内陸部にも Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の供給源が存在することなどを示している。

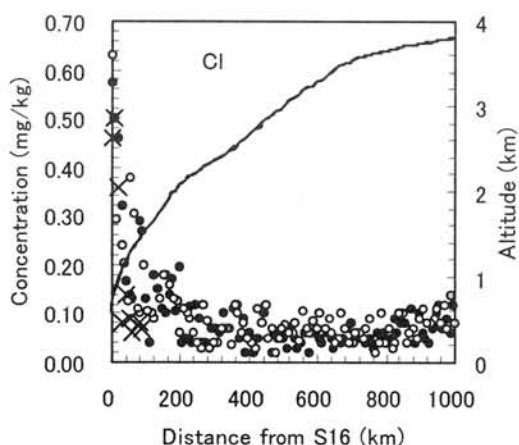


図1 積雪中塩化物イオン濃度の地理分布。

●はドーム旅行往路、○はドーム旅行復路、×はみずほ旅行を示す。実線で標高の変化も示した。

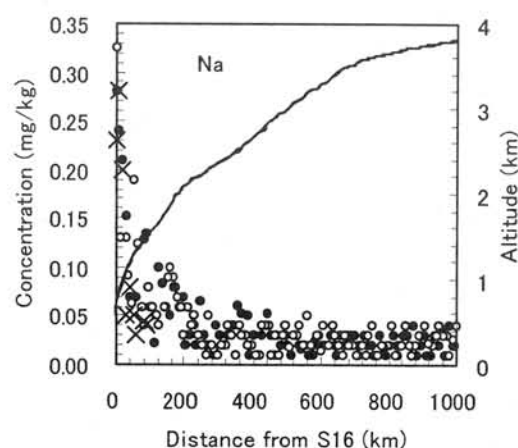


図2 積雪中ナトリウムイオン濃度の地理分布。

●はドーム旅行往路、○はドーム旅行復路、×はみずほ旅行を示す。実線で標高の変化も示した。

北極アラートで採取された積雪中の水溶性有機物

成川正広・松永壮・河村公隆（北大低温研）・S.-M. Li・J. W. Bottenheim (MSC, Canada)

Water-soluble organic compounds in snowpack collected during Alert 2000 experiment

M. Narukawa, S. Matsunaga, K. Kawamura (ILTS, Hokkaido University),
S.-M. Li, J. W. Bottenheim (MSC, Canada)

Dicarboxylic acids have been reported at various locations as dominant species of water-soluble organic compounds (WSOC) in aerosols and of total organic carbon (TOC) in snow. In the Arctic, concentrations of dicarboxylic acids in aerosols have been found to increase during the polar sunrise. However, details in the formation of dicarboxylic acids in the Arctic are poorly understood. Photolysis of dissolved organic carbon (DOC) in aerosols and snow may be the source of HOx and HCHO in snowpack, which consequently may affect atmospheric chemistry of polar regions, especially at the polar sunrise. In the present study, aerosols and snowpack samples were collected at Alert, Nunavut, Canada during the Alert 2000 experiment to investigate composition of DOC and photochemical production of dicarboxylic acids. Samples were collected near the Special Study Trailer situated about 6 km southwest from Alert and near the ice camp located about 7 km northwest from Alert. The snowpack samples were analyzed for dicarboxylic acids and carbonyls using GC and GC/MS. A homologous series of α,ω -dicarboxylic acids (C2-C9), dicarbonyls and hydroxyaldehyde were identified. Oxalic acid (C2) was found to be the dominant diacid species (0.06-0.55 μM), followed by succinic (C4) and malonic (C3) acids. Succinic acid concentration was equal to oxalic acid on occasion after polar sunrise. The results will be presented with a discussion on the photochemical production and degradation of the water-soluble organic species during the polar sunrise.

【はじめに】

北極大気中では、低分子ジカルボン酸の濃度がポーラーサンライズ期に急激に増大することが明らかにされている。低分子ジカルボン酸は、日射下におけるラジカル反応を経て生成すると考えられるが、詳細な生成機構はあまり理解されていない。昨年、北極積雪中の有機物が日射下で変質し大気へアルデヒドを放出することにより、雪上の大気化学に影響を及ぼしているとの報告がなされた。ジカルボン酸は北極の積雪中にも存在することが報告されており、積雪中のジカルボン酸とその前駆体と考えられるカルボニルも日射下において変質を受けていると考えられる。本研究では、ポーラーサンライズ期における水溶性有機物の組成とジカルボン酸の生成機構を調べるため、北極の積雪とエアロゾル中のジカルボン酸及びカルボニルを測定したので、その結果を報告する。

【試料と分析方法】

北極対流圏化学に関する国際共同観測 Alert2000 の一環として、2000 年の 2 月（極夜）と 4、5 月（白夜）に北極圏カナダ、アラート（82°30'N, 62°20'W）で、海氷上と陸上において積雪試料が採取された。エアロゾル試料も同時期に陸上に設置したハイボリュームエアサンプラーを用いて採取された。

試料中のジカルボン酸、カルボニルは、濃縮、誘導体化した後、GC、GC/MS により測定した。

【結果】

積雪試料中に飽和ジカルボン酸（C2-C9）をはじめ、ジカルボニル（C2、C3）、ヒドロキシアルデヒドが検出された。ジカルボン酸では、シュウ酸（C2：0.06-0.55 μM ）の濃度が最も高く、コハク酸（C4）、マロン酸（C3）がこれに続いた。ジカルボン酸は、極夜よりも白夜の方が高濃度を示す傾向が見られ、特に C3-C5 のジカルボン酸は顕著であった。ポーラーサンライズ後、試料によってはコハク酸がシュウ酸とほぼ等しい濃度を示した。このような結果から、ポーラーサンライズ期に積雪または大気中で、光化学反応により C3-C5 のジカルボン酸が生成し、シュウ酸が選択的に分解していることが示唆される。講演では、エアロゾル中の水溶性有機物のデータと合わせて、水溶性有機物の生成・分解機構を議論する。

極東シベリアの積雪特性

山田知充(北大低温研)、藤井理行(国立極地研)、西尾文彦(千葉大・リモセンセンター)、
小林俊一・和泉薫(新潟大積雪災害研)、戸山陽子(道教育大釧路大学院)、
高橋晃(通信総合研究所)、中山雅茂(東海大学大学院)

Characteristics of snow cover in the far-east Siberia

T. Yamada (Institute of Low temperature Science), Y. Fujii (National Institute of Polar Research), F. Nishio (Chiba Univ.), S. Kobayashi, K. Izumi (Niigata Univ.),
Y. Toyama (Hokkaido Univ. of Education, Kushiro Campus),
A. Takahashi (Communications Research Laboratory) and M. Nakayama (Tokai Univ.)

Characteristics of snow cover in the far-east Siberia were investigated along the roads from Yakutsk to Mirny (Mar. 1998), to Velkhoyansk (Mar. 1999), to Irkutsk (Mar. 2000) and to Harbin, China (Mar. 2000). Though snow depth, H , and water equivalent of snow, H_w , are widely spread in the range of 25–120 cm and 3 – 30 g/cm², average density of snow cover shows relatively small values of around 0.22 g/cm³ and no more than 0.3 g/cm³. Almost the entire snow covers are composed of large depth hoar crystals. It is shown that the relationship between H and H_w can be approximated by a linear equation.

1. はじめに

冬期に世界最大規模の高気圧を育むシベリアの広大な大地は冬期間積雪に覆われている。積雪は地表面アルベドを劇的に変化させ、地表面からの熱放射のみならず大気側にも大きなインパクトを与え、融雪期には土壌水分の重要な決定因子となる。地表面がむき出しの場合に比べ積雪に覆われていることで、シベリアの地表面と大気との相互作用、特に熱と水の流れに積雪は大きな役割を演じていると考えられる。シベリア積雪域の積雪量やその季節変動、年変動は北半球の冬期の気候に大きな影響を与えと考えられるが、シベリアの積雪については未だよく分かっていない。また、シベリア高気圧は上部対流圏の収束場で広域の化学物質をシベリア上空に集め、それを地上へと輸送し、積雪と共に堆積させる循環場を形成している。従ってシベリアの積雪には冬期のバックグラウンドレベルの大気微量成分や汚染物資の循環に関する情報も内蔵されていると見られる。

そこで 1998 年から 2000 年の 3 年間に亘って道路に沿って 100km 毎(一部 50km 毎)に積雪調査を実施すると共に、化学成分分析用試料を採取した。1998 年 3 月にはヤクーツクからミルヌイ(YM ルート)までが、1999 年 3 月はヤクーツクからヴェルホヤンスクまで(YV ルート)が、2000 年 3 月には 3 ルートを設定し、第 1 班はヤクーツクからイルクーツク(YI ルート)まで、第 2 班はヤクーツクから中露国境アムール川岸のブラゴヴェシチェンスク(YB ルート)まで、第 3 班は中国東北部のハルビンからアムール川岸のヘイホー(第 2 班の最南下地点対岸中国側)までが調査された。

調査項目は積雪深、積雪水量、積雪断面観測（密度・雪温・層位・雪質・粒度）、気温、積雪試料採取（化学主成分・酸素同位体・トリチウムなど）、積雪粒子・積雪断面のビデオ撮影、観測点周辺のビデオ撮影である。

ここでは極東シベリアの積雪の特徴と広域分布特性を議論する。

2. 調査結果

観測した全ルート（YMルートとYVルート）の積雪深の範囲は25 - 120 cm（5倍）、積雪水量の範囲は3 - 30 g/cm²（10倍）にあった。全層密度は平均0.22 g/cm³程度、最大でも0.30 g/cm³を越えることはなく、積雪は非常に軽い。

ヤクーツク北方（YMルート）と西方（YVルート）は積雪量が比較的少なく場所による違いも顕著ではない。一方ヤクーツク南西方のレナ川流域からイルクーツクにかけては比較的多雪地帯となっており、また場所による積雪量の違いが大きい。YVルートの積雪量にはヤクーツクから北方に向かうほど減少する傾向が認められた。YBルートは途中標高1000mを越える山地を通過している。高度と積雪深の関係を見ると標高の増加に連れて積雪深は直線的に増加しており、またこの山地の北側の方が同じ高度でも雪が多く、南は少ないことが分かった。

シベリアは寒冷な上に積雪が浅いため、積雪上面雪温と地表面温度との温度差が10-40℃にも達していた。シベリアの大地を覆っている積雪は断熱材として、凍土の熱環境に大きな影響を与えていることを意味している。積雪表面直下に大きな温度勾配がかかる傾向が見られ、最大1.7℃/cmにも及ぶ大きな温度勾配がかかっていた。そのためしもぎらめ化が著しく、観測した全域で雪質は新雪を除いてはほとんどしもぎらめ雪とこしもぎらめ雪からなり、特に堆積してから時間の経過した積雪下部は骸晶からなるしもぎらめ雪が占め、1cmを超える巨大な骸晶結晶が観察された。

積雪水量と積雪深、平均密度との間に相関が認められるが、特に積雪深と積雪水量の関係には、観測地域の全域の資料をプロットした図1に示す様に、極めて良い相関認められる。このことは比較的簡単に測れる積雪深から精度良く積雪水量を見積もることができることを示している。

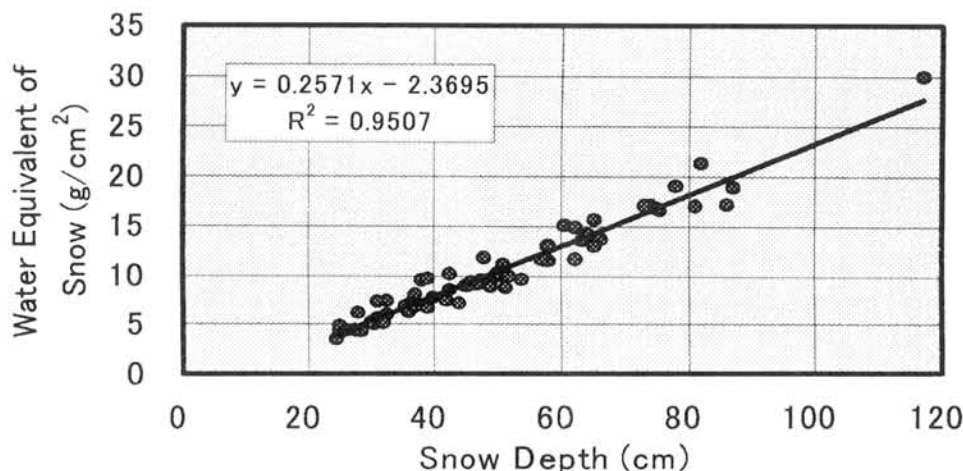


図1：積雪の深さと積雪水量の関係

シベリア広域積雪のマイクロ波特性と地上検証について

西尾文彦 (千葉大)、藤井理行(極地研)、小林俊一・和泉薫(新潟大)、高橋晃(通総研)、山田知充(北大低温研)、
中山雅茂 (東海大)、戸山陽子 (北海道教育大学)

Microwave characteristics on snow cover in Siberia

F. Nishio(Chiba Univ.), Y. Fujii (NIPR), S. Kobayashi, K. Izumi(Niigata Univ.), A. Takahashi (CRL), T. Yamada (Hokkaido Univ.),
M. Nakayama(Tokai Univ.), Y. Toyama(Hokkaido Univ. of Education)

Abstract; We understood that the global environment issues are the most urgent problem to which scientific organizations should contribute. The snow cover and glaciers in Siberian continent plays an important role such as to store a huge amount of heat sink and influence a global atmospheric circulation, and that the global warming is feared to cause a serious change of cryosphere of this area. In order to understand the ecological, geological, geochemical and meteorological system in snow cover area and glacier existing area in Siberian region.

はじめに

地球規模の大気大循環の中で、極域は物質の収束域にあたるため大気環境変動が顕著に現れると考えられている。シベリア高気圧は北半球の冬季に最も安定した高気圧で、この消長はロシアや日本のみならず北半球の冬季の気候を大きく支配している。シベリア高気圧の循環場では、上部対流圏あるいは下部成層圏で収束された大気が地上で発散されるため、北半球の大気大循環場のバックグランドレベルの大気微量物質の変動を探る上で重要なフィールドである。シベリアの積雪域の変動はアルベド・フィードバックにより、また積雪域の消長は土壌水分量に大きな影響をあたえ、気候変動に密接に関わると考えられているが、ここでの積雪状況はまだまだ未解明な点が多い。そのために、シベリア高気圧圏内での積雪の化学的特性、同位体特性とともに物理的特性を明らかにし、シベリア高気圧圏における物質循環を探ること、人工衛星を用いて広域の積雪域変動特性を観測していくための地上検証を行うことを重要な目標としている。

いままでの経過

1996年4月にはヤクーツクからオホーツク海沿岸のマガダンまで、1997年3月にはヤクーツクおよびハバロフスクにおいて、1998年3月には、ヤクーツクからミールヌイまでの、50km から 100km の積雪断面観測をおこない、積雪深、積雪水量、層位が広域にわたってほぼ一様であった。森林内でも林外の切り開きの雪原であろうともほぼ一様であった。この結果は衛星マイクロ波による積雪域の積雪域や積雪深を検知することの有用性を示し、リモートセンシング手法の応用において精度を高めることが期待できる。

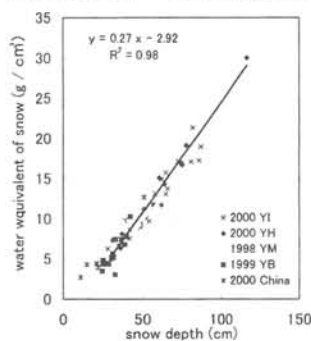


図1.積雪深と積雪水量との関係

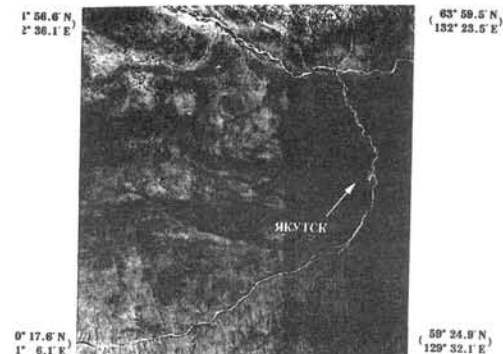


図2.RADARSAT の画像

ヤクーツク・ベルフォヤンスク間 (1999年3月)

1999年3月14日から29日までで、調査経路はヤクーツクからベルホヤンスクまで。調査は 100km 毎に次の項目を実施した。積雪深度、積雪水量、積雪断面観測(層構造、粒径、密度、雪温、雪質)、積雪試料(化学主成分、酸素同位体、硫黄同位体分析用)、写真撮影、ビデオ撮影(ビデオモザイク作成)を行った。

積雪断面とマイクロ波特性の検証

図2にはヤクーツクからミールヌイまでの一部の RADARSAT の衛星画像を示した。この地域の積雪分布は積雪深と積雪水量がほぼ直線関係を有している(図1)。積雪深は30~60cmであった。表面は数mmのしまり雪、ほぼ全層がしもざらめ雪で地面近傍は1cm以上のコップ状の結晶形をしている。各地点の積雪深さ分布とマイクロ波レーダによる積雪深推定量を求めると良い一致を示す。シベリア地域のマイクロ波特性の検討と積雪水量の妥当性について検討する。

北極圏の霜ざらめ雪形成に関する実験的研究

鎌田 慈・佐藤篤司 (防災科研・新庄)

Experimental studies on depth hoar formation in the Arctic Region

Y. Kamata and A. Sato (Shinjo Branch of Snow and Ice studies, NIED)

Experiments were carried out to investigate the growth of depth hoar crystals in Polar Regions. Experiments were carried out with the temperature gradients of 500 K m^{-1} . Temperature range was from -65 to -15°C . Snow density was 165 and 290 kg m^{-3} . After the experimental period, the texture of original fine snow was considerably changed into sharply edged hoar grains. The growth rate of depth hoar was not always proportional to the magnitude of temperature gradient. This result contradicts to previous studies. We think the growth rate of depth hoar crystals should be governed by water vapor flux in the snow. The water vapor flux was calculated from both of temperature and temperature gradient. Results showed the good correlation between the growth rate and the water vapor flux. The growth rate increases with increase of the water vapor flux, and was found higher rate of increase for lower density snow.

はじめに アラスカ・フィンランドなど北極圏の積雪は、発達した霜ざらめ雪で構成されることが観測により明らかになってきた。これらの地域の霜ざらめ雪は、 -40°C 以下にもなる極地低温、強い温度勾配の下で変質している。このような霜ざらめ雪の成長条件を調べるために、温度勾配 500 K m^{-1} をかけた室内実験を行った。本研究では、水蒸気 flux と結晶の成長速度の関係について調べた。

実験方法 厚さ 10 cm の雪試料に、温度範囲は $-65^\circ\text{C} \sim -15^\circ\text{C}$ で、 500 K m^{-1} の温度勾配をかけた実験を行った。雪試料の密度は 165 , 290 kg m^{-3} である。実験期間終了後、雪試料の粒径解析を行ない、試料各層の成長速度を調べた。水蒸気 flux は雪試料内の温度分布から計算した。

実験結果 初期状態の雪は、冷熱源に近い層では、ほとんど変質せず、温熱源に近づくにつれて、こしもざらめ雪、霜ざらめ雪へと変質し、平均粒径も大きくなった。各層の平均成長速度と温度勾配を比べると、必ずしも温度勾配に比例しなかった。そして、成長速度は温度の高い層で大きかった。福沢ら (1991) は、しもざらめ雪の成長速度は温度勾配の大きさに比例すると報告している。極地低温下で発達する霜ざらめ雪の成長速度は、第1に温度の影響を受け、第2に温度勾配の影響を受けることがわかった。これには、次のような理由が考えられる。結晶が成長するためには水蒸気の供給が必要である。雪粒子の周りの飽和水蒸気濃度は温度依存性があり、温度の低下とともに指数関数的に減少する。このため、たとえ温度勾配が

大きくても極地低温下では水蒸気濃度が低いため、結晶の成長速度が小さかったと考えられる。これを調べるために、雪試料中は水蒸気で飽和されていると仮定して、温度分布から水蒸気フラックス量を計算し、各層の成長速度と比較した。結果として、水蒸気フラックス量と結晶の成長量は比例関係にあることがわかった (図1)。また、成長速度の水蒸気 flux 依存性は、密度が 290 kg m^{-3} の方が小さかった。

参考文献

福沢卓也・秋田谷英次 1991 大きな温度勾配下でのしもざらめ雪成長実験、低温科学、物理篇、50、9-14.

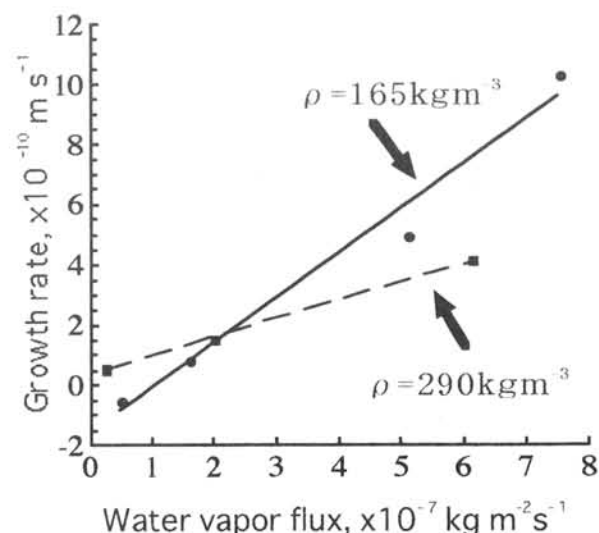


図1 水蒸気 flux と平均成長速度の関係

火星北極氷床と地球極域雪氷学

樋口 敬二 (名古屋市科学館)

Mars North Ice Cap and Terrestrial Polar Glaciology

Keiji HIGUCHI (Nagoya City Science Museum)

It is important to apply the results obtained by terrestrial Polar Science to researches in Mars Polar Science.

Accumulation at the Mars North Ice Cap was estimated on the basis of sublimation and precipitation of H_2O ice. In such cases, estimations were made on the basis of observational results of snow and hoar at the Dome Fuji Station, Antarctica, where temperature condition during winter was similar to temperature condition on Mars.

2000年8月21日～25日、アイスランドのレイキャビークで、The Second International Conference on Mars Polar Science and Explorationが開催され、地球極地科学の成果を火星極地科学の研究に活かすことが強調された。

特に、火星では、南極氷床が CO_2 氷(ドライアイス)であるのに対して、北極氷床は、 H_2O 氷であるとされており、地球極域雪氷学と共通の課題があると考えられる。例えば、火星の大気は CO_2 が大部分で、その圧力は1/200気圧であり、地球大気とは大いに異なっているが、表面付近の温度は約200°K(−73℃)であり、地球南極氷床の内陸部における冬の温度条件に近い。

なかでも、アメリカの火星探査機バイキング2号が、着陸地点(47°67'N、225°74'W)の付近で冬季の約100日間、霜(H_2O : Frost)を観測しており、その温度条件は、ドームふじ基地の冬期の温度条件に近い。そこで、ドームふじ基地の雪面上における霜(Hoar)の形状、成長速度等(Kameda et al. 1999)、ならびに小林による人工雪の実験(1958)に基づいて、バイキング2号付近における霜の成長速度を気温−50℃の場合について計算し、100日間に水に換算して6mm/cm²という値を得た。この値は、ドームふじ基地における雪面凝結量が、3月～10月の8ヶ月間に、5.5mm/cm²という観測値(Kameda et al. 1997)に近い。

一方、火星において降雪は観測されていないが、雪の結晶として降るかわりに、火星大気中に多い塵の粒子の上に水蒸気が凝結して氷粒となって降下する過程で降水が起こる可能性がある。この場合、夜間における放射冷却によって塵の粒子の温度がまわりの気温より低くなると凝結量が多くなる。そこで、その効果を考慮して水蒸気の凝結量を拡散方程式によって求め、塵の粒子が大気中を降下する速度と組合わせて、表面における H_2O 氷の降下量をもとめた。その結果、バイキング2号の着陸点付近では、100日間に10mm/cm²という降水量の値を得た。

したがって、バイキング2号の着陸点付近(48°N)における冬期涵養量(雪面凝結量と降水量の和)は、16mm/100日となった。この値に基づいて、火星北極氷床の場合を推定すると、気温が−70℃の場合、飽和水蒸気量が1/30になるので、涵養量は、0.5mm/yearとなる。これまで、火星北極氷床における値は、0.1～1mm/yearと仮定されてきたので、この範囲におさまっている。

このような結果を、レイキャビークの会議で発表したところ、火星上の現象をミクロに解析したものとして評価された。

これは、一例だが、地球南極氷床の形態、流動、レーダー観測等の成果と手段に基づいて、火星極地科学が日本でも進められることが期待される。

東クイーンモードランドにおける氷河流動特性

○高橋修平（北見工業大学）、西尾文彦（千葉大学）、成瀬廉二、藤田秀二、
前 晋爾（北海道大学）、本山秀明、古川晶雄、渡辺興亜（極地研）

Features of Ice flow in East Queen Maud Land, East Antarctica

S. Takahashi (Kitami Institute of Technology), F. Nishio (Chiba University), R. Naruse, S. Fujita, S. Mae (Hokkaido University), H. Motoyama, M. Furukawa, O. Watanabe (National Institute of Polar Research)

Japanese Antarctic Research Expeditions (JAREs) have made observations on dynamics of the ice sheet in East Dronning Maud Land for several ten years. They observed flow speed, strain rate, discharge velocity at glacier mouth in the area from Enderby Land to Sor Rondane around Dome Fuji. Considering ice flow flux is equilibrium to accumulation in the upstream area between two stream lines, the balance velocity is obtained in the whole area. The obtained result well agrees with the observed flow velocity.

はじめに 日本南極観測隊はこれまで長年にわたり、氷河流動速度、歪み測定など氷床ダイナミクスに関する観測を行ってきた。東クイーンモードランド計画において表面質量収支、表面地形、基盤地形等がまとめられ、氷河流動の Balance Velocity を求めることが可能になり実測と比較することができたので報告する。

氷河流動速度 氷床表面流動速度は、エンダービーランド計画では、三角鎖測量によりやまと山脈周辺域の白瀬氷河横断ルートにおいて求められ、東クイーンモードランド計画では航法衛星システム(NNSS)により主として白瀬氷河縦断ルートにおいて、ドーム計画では GPS システムにより白瀬氷河全域について求められた。

Balance Velocity 氷河流動が定常状態とすると、ある地点の氷河流動による質量フラックスは2つの流線に囲まれた上流域部分の積雪涵養量と等しいと考えることができ、氷厚がわかれば平均流動速度である balance velocity を求めることができる。流速の垂直分布を考えると、表面流速はこの Balance velocity より少し大きくなることになるがその違いは小さい。

東クイーンモードランドにおいては表面質量収支、表面地形、基盤地形、氷厚が求められており、その情報から求めた Balance Velocity を図1に示す。その計算結果は、実測値と良い対応を示した。

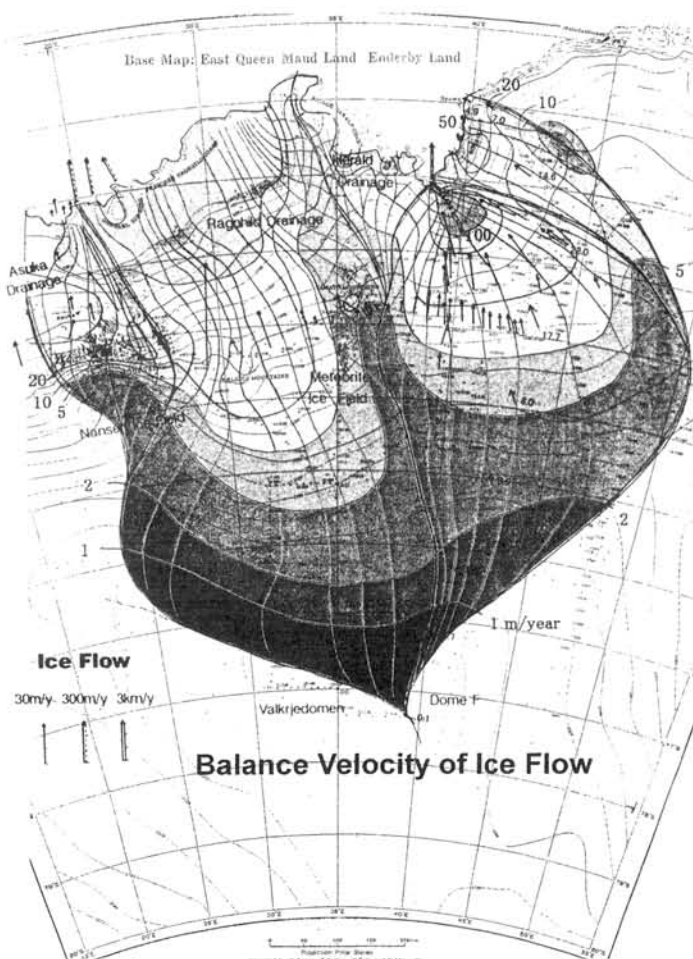


図1. 東クイーンモードランド地域氷床の Balance Velocity の分布
Balance velocity の速度別に濃度が異なる。矢印は流動速度実測を示す。

Is Shirase Glacier retreating?

Frank Pattyn¹, Dominique Derauw² and Hugo Decleir¹

¹Department of Geography, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel, Belgium.

²Centre Spatial de Liège (CSL), Université de Liège, Av. Du Pré-Ailly, B-4031 Angleur, Belgium.

ABSTRACT

Based on sequential ERS ½ Tandem satellite images, the surface velocity field of Shirase Glacier – a major East-Antarctic ice stream – was determined by interferometric processing using the coherence-tracking method. A force-balance study was carried out to elucidate the present ice-dynamical state of the glacier in the vicinity of the grounding line. Results demonstrated that vertical shear in the transition zone is negligible as more than 90% of the total velocity is taken up by basal sliding (Pattyn and Derauw, submitted).

Using estimates of ice thickness (H) along the central flow-line, a constant accumulation rate (\dot{a}) and calculated strain rates ($\dot{\epsilon}_{xx}$, $\dot{\epsilon}_{yy}$) – obtained from the interferometric velocities – the local imbalance could be calculated from the equation of mass continuity (Eq. 1).

$$\dot{H} = -\nabla(H\bar{u}) + \dot{a} = -H(\dot{\epsilon}_{xx} + \dot{\epsilon}_{yy}) - u \frac{\partial H}{\partial x} + \dot{a} \quad (1)$$

This revealed a large thinning in a small area (10 km) upstream of the grounding line, and a pronounced thickening in a small area downstream of the grounding line (Fig. 1).

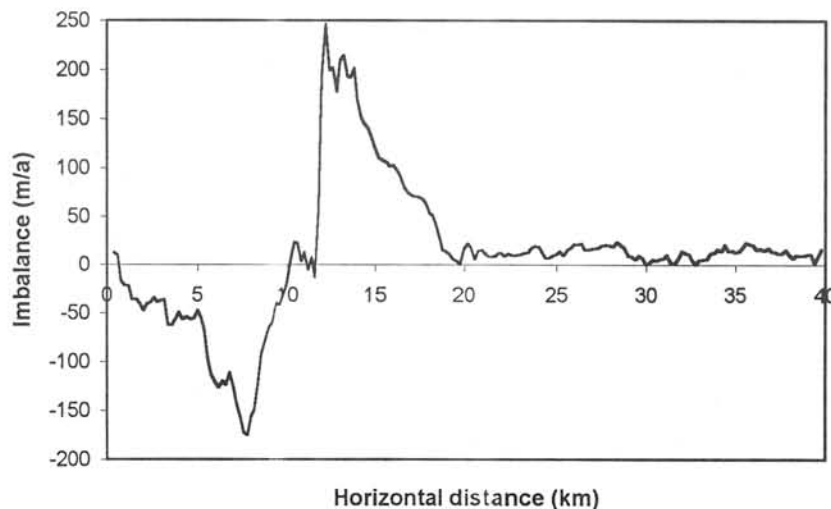


Fig. 1: Local imbalance along the central flow-line of Shirase Glacier, calculated from the velocity field obtained from satellite interferometry. The grounding line is situated near km 10. The ice flow is from left to right.

In order to investigate the nature of this thinning a number of numerical model experiments were carried out with the Shirase-model (Pattyn and Decleir, 1998; Pattyn, 2000). Starting from a steady state condition of an ice-sheet – ice-stream model

situation, abrupt changes in boundary conditions were considered, such as rise and fall of sea level, sudden increase/decrease in surface accumulation, basal melting/accretion at the ice shelf, and repositioning of the grounding line in the model set-up. Results show that a grounding line retreat (as a result of one of the above-mentioned changes in boundary conditions) is a possible candidate for explaining the pattern of high imbalance values (Fig. 2).

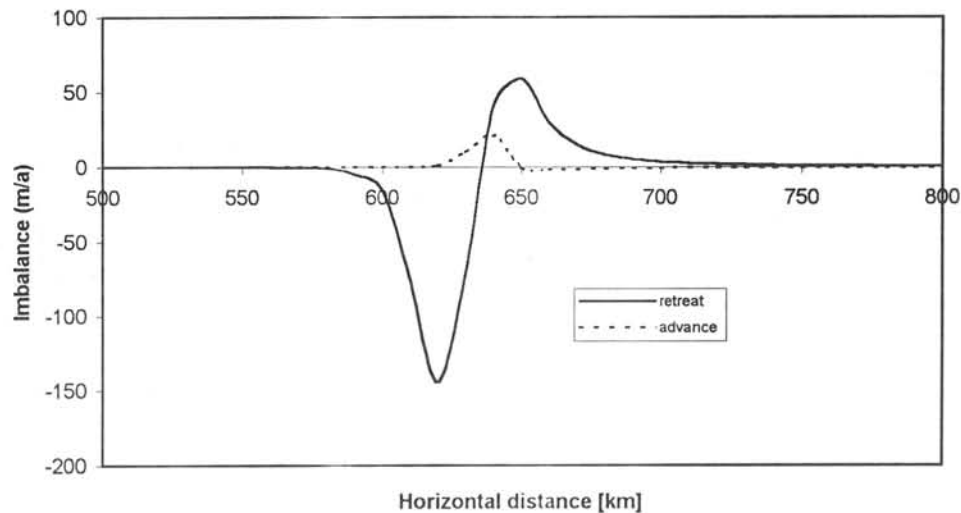


Fig. 2: Local response of the modelled ice sheet by changes in the position of the grounding line. Solid line marks the response after a sudden grounding line retreat, while the dashed line shows the response after a sudden grounding line advance. The grounding line itself is situated at approx. 640 km (in the case of retreat) and at 650 km (in the case of advance). The ice flow is from left to right.

Results of different simulations will be discussed and an analysis of glacier response time to changes in the flow regime will be given.

References:

- Pattyn, F. and Declerq, H. 1998. The Shirase flowline model: an additional tool for interpreting the Dome Fuji signal. *Polar. Meteorol. Glaciol.* 12: 104-111.
- Pattyn, F. and Derauw, D. submitted. Shirase Glacier dynamics inferred from ERS-SAR interferometry. Submitted to *Journal of Glaciology*.
- Pattyn, F. 2000. Ice-sheet modelling at different spatial resolutions: focus on the grounding line. *Ann. Glaciol.* 31: in press.

第 40 次南極観測隊における白瀬流域のアイスレーダ観測—序報—

松岡健一(北大低温研)、古川晶雄(極地研)、鈴木利孝(山形大理)

前野英生(郵政省通総研)、藤田秀二(北大院工)、渡邊興亞(極地研)

Preliminary report of radio echo sounding in Shirase basin by JARE40

K. Matsuoka (Hokkaido Univ.), T. Furukawa (NIPR), T. Suzuki (Yamagata Univ.),

H. Maeno (CRL), S. Fujita (Hokkaido Univ.), and O. Watanabe (NIPR)

はじめに

33 次隊(1991-1993 年)では深層コア掘削地点選定のためドームふじ地域の基盤地形に重点を置いたアイスレーダ観測が 179MHz で実施された。一方 37 次隊(1995-1997 年)では氷床内部の観測に重点が置かれ、レーダの周波数によって捉えられる内部構造が異なるという立場から、60MHz と 179MHz の 2 周波で観測が行われた。40 次隊(1998-2000 年)ではこれらを発展させ、氷床内の等年代層を検知することが期待される 30MHz を加えた 3 周波のレーダで、白瀬流域を調査した。観測の目的は、1) 室内実験などから予想されているレーダエコーの周波数依存性を 3 周波の比較により確かめること、2) その結果を応用し、この地域の氷床内部における等年代層や歪分布、そして氷河底面の状態を知ること、の 2 点である。

観測機器の特徴

近年の極域氷床向レーダでは最も低周波となる 30MHz レーダを新規に制作した。レーダエコーの周波数依存性を議論するため、パルス幅やアンテナパターンなどエコーを変化させ得る周波数以外の要因は 3 周波で一致させた。またパルス幅が鉛直分解能に与える影響を調べるため、パルス幅は複数設定し切り替え可能とした。従来は 1 台の雪上車に 1 周波ずつレーダを搭載していたが、本観測では 1 台の雪上車に 60/179MHz のレーダを搭載し記録系を 2 周波で共用し、合計 2 台の雪上車で 3 周波の観測を行った。これにより現場での作業量が大いに軽減された。同時運用による混信をさけるため、2 台の雪上車は数百 m 離すようにし、また 1 台の雪上車に搭載した 2 台のレーダは同期制御器を用いて観測のタイミングをずらした。図 1 に観測機器の構成を、図 2 にアンテナを搭載した雪上車の外観を示す。

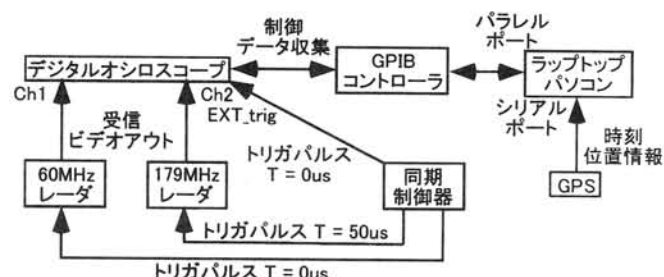


図1: 108号車に搭載した 60/179MHz レーダの構成
109号車に搭載した 30MHz レーダでは同期制御器を除いた構成となる。



図2: アンテナを搭載した雪上車
上は 30MHz を、下は前後中央部に 60MHz アンテナを、後部に 179MHz アンテナをそれぞれ搭載している。

観測条件および観測結果

移動観測ルートおよび定点観測地点を図 3 に示す。移動観測ではパルス幅 500nsec で送受信アンテナの偏波面がともにルートに平行な観測を基本とした。複数回通過するルートではパルス幅や偏波面を変化

させ、これらの条件によるエコーの違いが議論できるようにした。一方、定点観測では偏波面を 22.5° ずつ回転させエコーの偏波面依存性を詳細に調べた。この際、車を少しずつ移動させながらデータを取得しスペックルノイズを軽減させた。観測の結果、全ての定点観測地点と 2,000km 以上にわたる移動観測ルートで良好なエコーを得ることができた。結果の一例として YM60 から MD240 に向かう白瀬流域主流線沿いの 60MHz データを図 4 に示す。なお、30MHz についてはハードウェアの問題から周期が 1.2MHz 程度の規則的なノイズが重畳した。基盤地形はノイズに埋もれることなく観察可能であるが、氷床内部からのエコーを識別するため現在ノイズを取り除くフィルタを開発中である。

謝辞

本観測の実施に当たり、40 次春旅行メンバーはもちろんのこと、多くの 40 次隊員の御協力を得た。ここに記し深くお礼申し上げます。

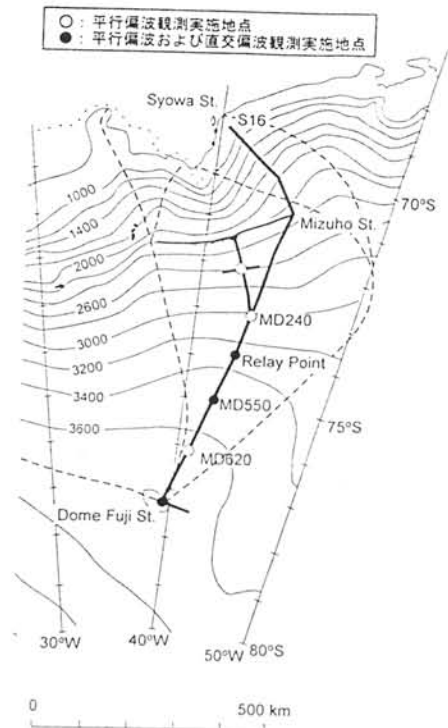


図4: 移動観測ルートと定点観測地点

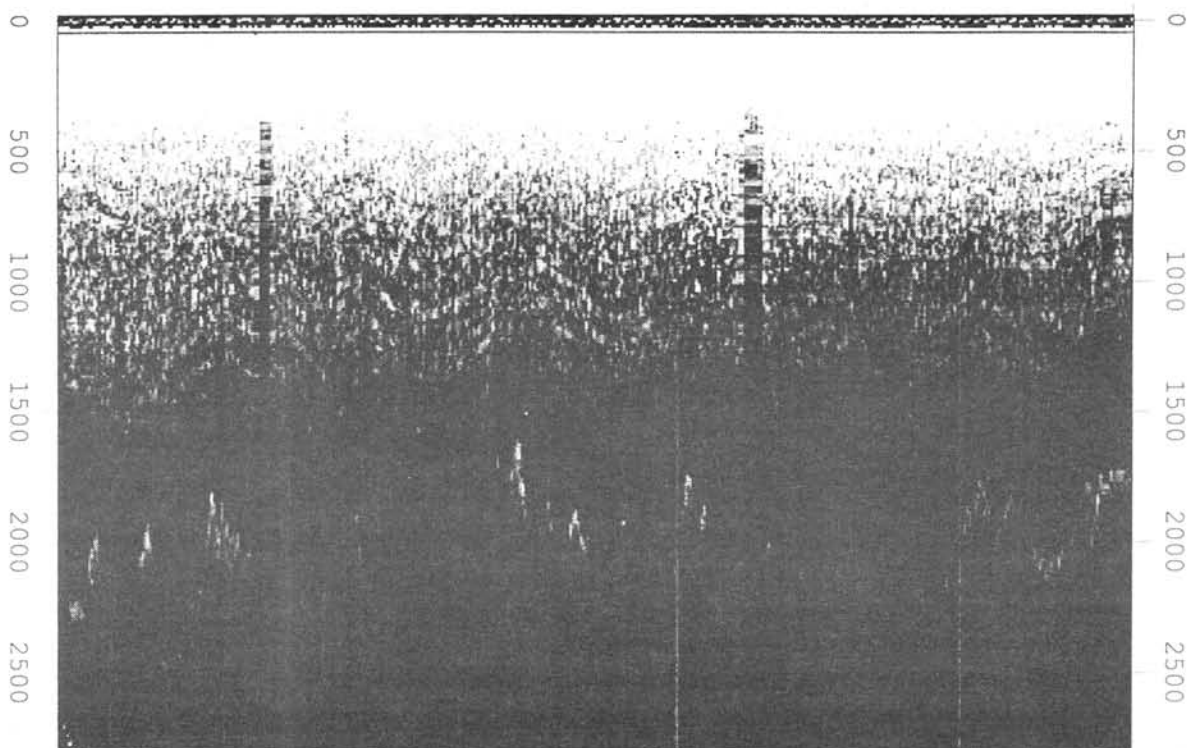


図5: 観測結果の一例

YM60 から MD240 に至る 40 次新規設置ルート沿いを 60MHz で観測した結果(Zスコープ)。白いほど受信電波強度が大きく、黒いほど強度が小さいことを表している。深さ(m)は電波の伝播速度が $170(\text{m}/\mu\text{s})$ で一定として算出した近似値。水平方向は右が下流(YM60)で左が上流(MD240)。通信の混信など除去できていないノイズもあり、最終的な結果ではないことに注意。

南極ドームふじ氷床の高周波誘電率は通常の氷 1h よりも小さい — レーダ現場観測からの証拠 —

藤田秀二¹、前野英生²、浦塚清峰²、古川晶雄^{3*}、前晋爾¹、藤井理行³、渡辺興亜³

(1, 北海道大学工学研究科、2, 郵政省通信総合研究所、3, 国立極地研究所)

Dome-F Antarctic ice reveals lower high-frequency permittivity than ordinary ice 1h: evidence from an in situ radar experiment

S. Fujita, H. Maeno, S. Uratsuka, T. Furukawa, S. Mae, Y. Fujii, O. Watanabe

1996年に、氷床ドーム計画の深層コア掘削の際に、ドーム基地において氷床探査レーダの試運転を数ヶ月間実施した。その結果、アンテナと掘削孔距離がわずか24mとしても、掘削孔中を上下するレーダからの電波散乱を検知することができた。これを利用し、氷の中の電波伝搬速度、誘電率、電波の屈折率を求める実験を現場でただちに企画した。掘削作業がおこなわれない深夜を利用して、ドリラーとしての医療担当隊員の厚い支援のもとにこの実験を実施した。なお、電波伝搬速度、誘電率、電波の屈折率は互いに換算可能な物理量である。

1800mの深度までならば、ドリルでの電波の散乱を検知することができた。1800m深までに、合計100深度点で、ドリル深度と電磁波の往復時間の関係を求めることができた。データの初期解析はすでに1997年に実施していたが、電波の伝搬媒体であるコア氷の諸解析の結果が出そろいつつある現在、はじめて精密な分析や解釈が可能になった。密度やC軸方位、それに不純物の効果を考慮する解析が実現した。解析の結果判明したことは、以下のとおりである。①ドームFの氷の高周波誘電率は、通常の氷（実験室系の氷として教科書に物性値があらわれるもの）よりも有意に小さい。最大約0.1小さい値を示す。②通常の氷との差は、浅層になるほど増大する。

ドリルをターゲットとした電波伝搬実験は、1983年に既に米国の研究者によってドームCとDye-3で実施されたことがある。この研究者は、測定結果として、800m深まではグリーンランドの氷よりもドームCの高周波誘電率が小さいという結果を導いている。このグリーンランドの氷の高周波誘電率は、「通常の氷」の値であり、ドームCの値は、ドームFとよく一致することがわかった。つまり、南極内陸高原地域では、共通して氷の高周波誘電率は有意に小さいのである。

この新事実は、現地での氷が原子レベルでの結晶構造で、通常の氷とは異なることを示唆している。高周波誘電率の値そのものから結晶構造の同定はできるわけではないが、有力な説は、深沢・前らにより近年提出されている説「結晶中の水素配列の秩序化」である。一連のラマン分光散乱や中性子散乱の実験で同定されているドームF氷の異常と一連のシナリオの上ののる可能性が高いと考えている。また同時に、第36次越冬隊がドーム基地で厳冬期に発見した「南極雪マリモ（あるいは霜マリモ：直径最大30mmまでの、霜の球形の集合体）」の形成機構とも一連のシナリオの上ののる現象である可能性がある。

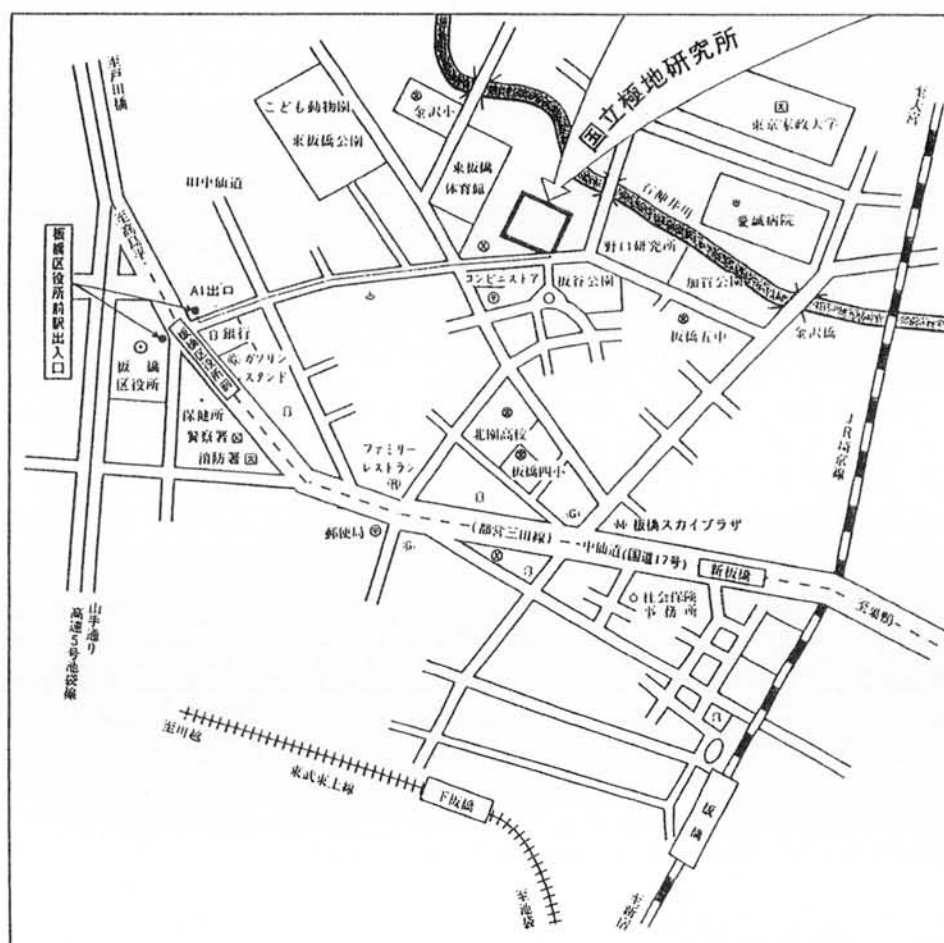
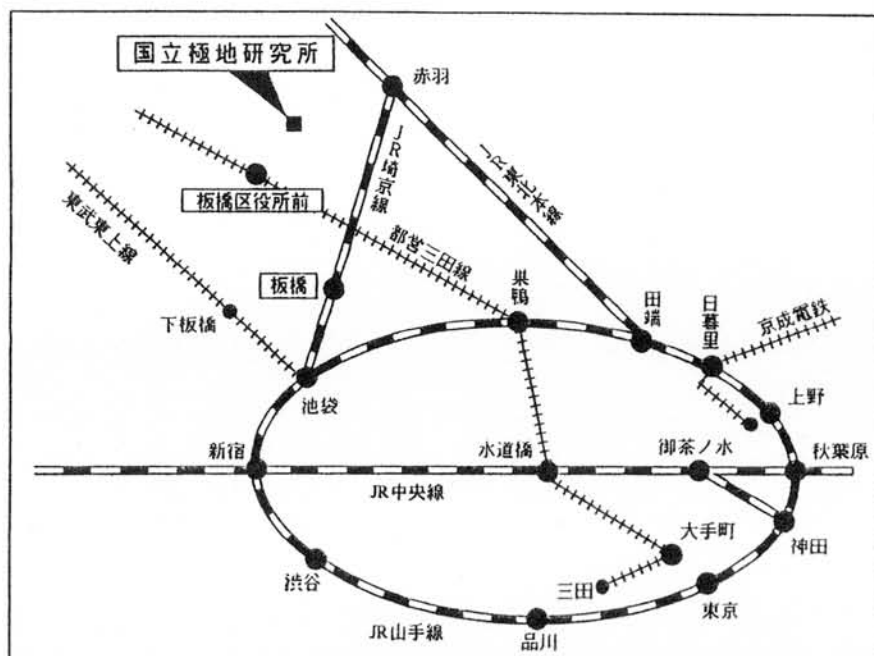
現在考えているシナリオは、「南極表層部で厳冬期に210K程度の温度下で気相成長した氷は、水素原子配列が秩序化する。この結果生じる自発分極により、表面電荷が引力や斥力になり、表層の霜は微風等のきっかけがあれば凝集する。氷床浅層でのフィルン層の水蒸気輸送（すなわち霜ざらめの発達）の過程でもこの210K気相成長のメカニズムは維持され、結果として形成された氷は、自発分極をもつ強誘電体となり、諸物性に変化があらわれる。氷が深層に沈降し、融点に接近した場合、分子の熱振動に伴い水素配列は無秩序化し、物性は「通常の氷」に近づく。」。

このシナリオの各部分は今後実験的に検証し、検討されなければならないが、少なくともいえることは、この現象が南極の広大な領域で起きる現象の一断面を示しており、今後、深層コア解析や現地観測を通じて包括的に調査しなければならないということである。惑星の環境に存在する氷（たとえば火星の両極の氷床や木星のエウロパ衛星）にも同様な氷が存在している可能性を示唆している。

發表者一覽

青木 輝夫	PI-21	塩原 匡貴	PI-1 PI-2	松岡 健一	X-4
東 久美子	P11-2	柴田 隆	PI-12	松本 易典	PI-8
遊馬 芳雄	PI-17	下原 喜美子	P11-8	的場 澄人	P11-10
飯塚 芳徳	P11-16	庄子 仁	P11-7	宮本 淳	VII-2
五十嵐 誠	VII-4	白石 浩一	PI-13	森本 真司	PI-10
石川 信敬	II-3	菅原 敏	VIII-5	矢吹 正教	III-3,PI-3
一柳 錦平	PI-23	鈴木 利孝	IX-1	山形 定	PI-4
伊藤 一	PI-31	高田 守昌	P11-4	山田 知充	IX-3
猪上 淳	II-2	高橋 修平	PI-20,X-2	山内 恭	III-1
岩本 勉之	II-1	田上 美枝	P11-9	Li, Yuansheng	VI-1,VI-2
植村 立	P11-6	館山 一孝	PI-28	Nishiizumi, Kunihiko	VII-1
浮田 甚郎	I-1	谷口 悠司	PI-26	Pattyn, Frank	P11-12,X-3
榎本 浩之	V-2	忠鉢 繁	PI-14	Surdyk, Sylviane	PI-18
長田 和雄	PI-9	長 幸平	PI-29	Wen, Jiahong	VI-3
梶川 正弘	IV-5	戸山 陽子	VII-5	Zou, Han	V-4
門崎 学	PI-19	豊田 威信	PI-30		
金尾 政紀	P11-15	中岡 慎一郎	PI-25		
鎌田 慈	P11-21,IX-5	中山 雅茂	PI-27		
亀田 貴雄	VII-3	成川 正弘	IX-2		
川村 賢二	VIII-4	西井 和晃	V-1		
河村 俊行	I-2	西尾 文彦	IX-4		
菊地 正	VIII-3	西田 千春	PI-7		
木村 詞明	I-4	二橋 創平	I-3		
久慈 誠	IV-3	八久保 晶弘	P11-18		
栗田 直幸	PI-24	林 政彦	IV-2		
河野 美香	VIII-2	原 圭一郎	III-4,PI-6		
小杉 健二	P11-19,P11-20	樋口 敬二	X-1		
小西 啓之	PI-16	平沢 尚彦	PI-5,IV-1		
齊藤 隆志	P11-13	廣田 道夫	PI-11		
齋藤 冬樹	P11-14	深澤 倫子	P11-5		
佐藤 薫	V-3	藤井 理行	VIII-1,P11-1		
佐藤 啓市	P11-17	藤田 秀二	X-5		
佐藤 威	PI-22	藤谷 雄二	III-2		
佐藤 竜央	P11-3	古川 晶雄	P11-11		
佐藤 昇	PI-15	堀 雅裕	IV-4		

案 内 図



●地下鉄(都営三田線)「板橋区役所前」駅下車A1出口徒歩10分

●J.R.埼京線「板橋」駅下車徒歩15分

国立極地研究所

〒173-8515 東京都板橋区加賀1-9-10

電 話 03(3962)4712

FAX 03(3962)2529

